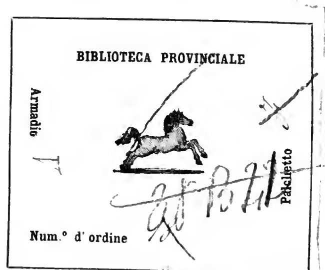
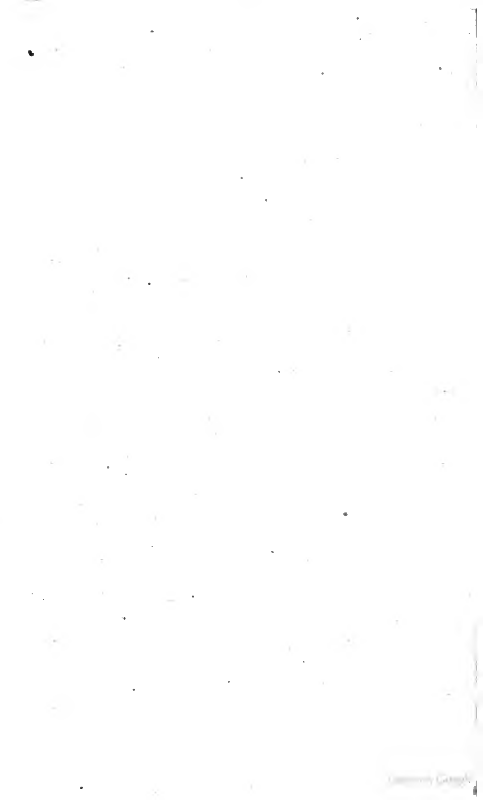



BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d' ordine



TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
OU
PRINCIPES DE PHYSIQUE.

TOME PREMIER.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

OU

PRINCIPES DE PHYSIQUE,

Fondés sur les connoissances les plus certaines, tant anciennes que modernes, & confirmés par l'expérience.

Par M. Brisson, de l'Académie Royale des Sciences, Maître de Physique & d'Histoire Naturelle des Enfans de France, & Professeur Royal de Physique expérimentale au Collége Royal de Navarre.

TOME PREMIER.



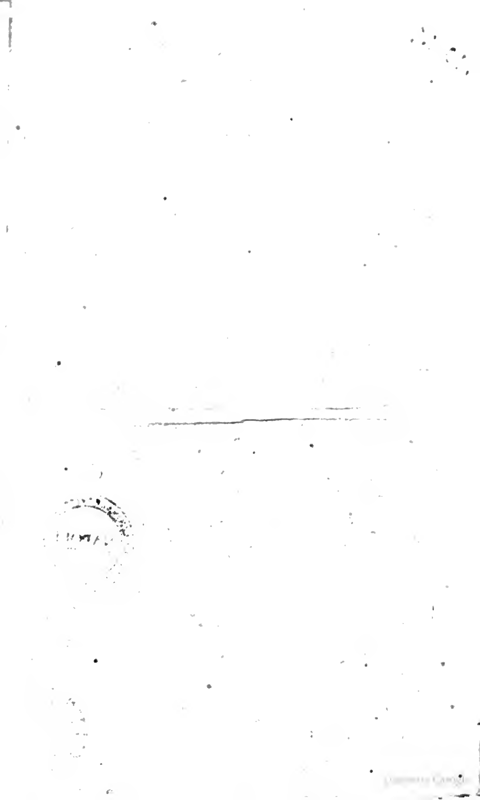


A PARIS,
De l'Imprimerie de Moutard, Imprimeur-Libraire;
Hôtel de Cluni, rue des Mathurins.

1789.









DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

DEPUIS environ une vingtaine d'années, on a fait, sur la composition des corps & sur la nature de leurs parties intégrantes, un grand nombre d'expériences, & telles enfin qu'on devoit les faire pour obtenir des résultats satisfaisans. La maniere dont on les faisoit ci-devant, n'étoit rien moins qu'exacte. En analysant un corps, on trouvoit quelquefois des substances qu'on croyoit entrer dans la composition de ce corps : on étoit souvent dans l'erreur ; ces substances s'étoient formées pendant l'opération : on en auroit eu la preuve, si l'on s'étoit assuré du poids, qu'on auroit trouvé plus grand que n'étoit celui du corps mis à l'épreuve. Aujourd'hui on tient une note exacte de ce poids, & l'on prend toutes les précautions nécessaires pour



recueillir tout ce qui s'échappe pendant l'analyse ; & si l'on trouve une augmentation de poids, on est sûr qu'il y a eu un nouvel être de formé : il ne s'agit plus que de découvrir quelle est la substance qui a fourni les parties qui sont entrées dans la composition de ce nouvel être ; & l'on y parvient en observant quelles sont celles avec lesquelles le corps analysé a été en contact pendant l'opération.

Ces expériences ont appris qu'il y a un grand nombre de corps qui peuvent prendre l'état de fluide élastique : c'est sous ce point de vue que l'on a considéré ces corps. Les nouveaux procédés qu'on a employés pour reconnoître leur composition & leurs propriétés, & le grand nombre de Savans qui, dans toute l'Europe, se sont occupés de ce genre de recherche, ont enrichi les différentes branches de la Physique d'un nombre considérable de découvertes. Des phénomenes, qui jusque-là avoient paru isolés, & n'avoir aucune relation entre eux, ont été liés par des faits nouveaux ;

& la Science préſente aujourd'hui une ſuite de faits & plus nombreuſe & mieux ordonnée.

Mais depuis cette époque, que l'on peut regarder comme celle d'un véritable renouvellement dans les Sciences d'obſervation, les découvertes ont été publiées chacune en particulier à meſure qu'elles ſe ſont offertes : elles ſe trouvent éparſes dans les Mémoires des différentes Sociétés ſavantes, & dans quelques Traités particuliers ; & perſonne n'avoit encore entrepris de les réunir en corps de doctrine. Il nous manquoit donc un Traité de Phyſique, dans lequel les faits fuſſent, d'après leur dépendance mutuelle, réduits à un petit nombre de phénomenes généraux, qu'on pût regarder comme *Principes*, & où ceux-ci fuſſent eux-mêmes préſentés dans un ordre ſyſtématique, & liés entre eux par une chaîne facile à ſaiſir. C'eſt ce que j'ai tâché de faire dans l'Ouvrage que j'ai l'honneur de préſenter au Public.

Tout ce que j'ai avancé & regardé

comme *Principe*, eſt fondé ſur les expériences les plus concluantes. Je n'ai adopté aucuns ſyſtêmes; je les crois ſouvent propres à arrêter les progrès de la Phyſique: ils ſont en général très-nuiſibles aux Sciences. Pour les former, on fait des hypotheſes & des ſuppoſitions gratuites & ſouvent inconcevables : après les avoir répétées dix ou douze fois, on croit les avoir prouvées; & on part de là pour dire : *Nous avons démontré.*

Les faits nombreux & nouvellement connus, que préſentent les fluides élaſtiques, ainſi que les ſubſtances dont on les extrait, ou du moins celles dont on fait uſage pour ſe les procurer, nous ayant donné lieu d'obſerver un grand nombre d'êtres nouveaux & juſqu'alors inconnus, il a été néceſſaire de leur donner des noms, pour pouvoir les déſigner; & ces noms ſont tels, qu'ils indiquent quelles ſont les parties conſtituantes de ces ſubſtances. Pour mettre de l'uniformité dans le diſcours & dans les idées, on a de même

donné des noms analogues & aussi significatifs aux substances anciennement connues. De là, il est résulté une Langue nouvelle, dont j'ai fait usage, & qui est beaucoup plus significative que l'ancienne; car, par exemple, ces noms, *sel de seignette*, *sel de duobus*, n'apprendront à qui que ce soit de quoi ces sels sont composés; au lieu que *tartrite de soude*, qui est le nom nouveau du premier, & *sulfate de potasse*, qui est celui du second, m'apprennent que l'un est formé par la combinaison de l'acide tartareux avec la soude, & l'autre par la combinaison de l'acide sulfurique avec la potasse; & ainsi des autres. Qu'on n'imagine pas que cette nouvelle Langue exige une longue étude; je suis persuadé que quiconque voudra s'en donner la peine, la saura en trois quarts d'heure. Il y a environ cinquante mots dont il faut se ressouvenir; encore y en a-t-il plusieurs qui ont des terminaisons semblables, quand ils ont des significations analogues.

Mais afin qu'on soit dispensé de chercher

& d'avoir recours à un autre Ouvrage, j'ai placé ci-après deux Synonymies des noms anciens & nouveaux, rangés par ordre alphabétique, & dans lesquelles on trouvera tous les noms employés dans cet Ouvrage. Dans la premiere, on trouvera d'abord les noms anciens, à côté desquels sont les noms nouveaux ou adoptés qui leur correspondent : dans la seconde, qui est l'opposé de la premiere, chaque nom nouveau y est accompagné de tous ses synonymes anciens ; & l'on verra qu'il y a telle substance à laquelle les Anciens ont donné jusqu'à douze ou quatorze noms différens. Quelle confusion cela n'est-il pas capable de mettre dans l'esprit des Etudians ?

Cet Ouvrage, qui est destiné à la Jeunesse de l'un & l'autre sexe, comprend toutes les questions relatives à la Physique ; & afin de pouvoir être entendu des uns & des autres, je me suis attaché à y mettre le plus de clarté qu'il m'a été possible. Pour cela j'ai cherché à être bref & con-

cis ; car, depuis le grand nombre d'années que j'enſeigne le Public, j'ai toujours remarqué que plus mes explications étoient courtes & ſerrées, mieux j'étois entendu. C'eſt pourquoi cet Ouvrage, malgré la grande quantité de matériaux qu'il contient, ne forme que trois volumes *in*-8°. ; & cependant je crois n'avoir rien oublié.

Cet Ouvrage eſt diviſé en dix-neuf Chapitres. Le premier traite des Propriétés générales des corps, qui ſont au nombre de douze ; le ſecond, du Mouvement & de ſes loix ; le troiſieme, des Cauſes qui changent la direction du mouvement ; le quatrieme, des Loix du mouvement compoſé ; le cinquieme, des Forces centrales ; le ſixieme, de la Gravité ou Gravitation des corps. ; le ſeptieme, de la Peſanteur des corps ; le huitieme, de l'Hydrodynamique, qui comprend l'Hydroſtatique & l'Hydraulique ; le neuvieme traite de la Mécanique ſtatique ; le dixieme, des Fluides élaſtiques ; l'onzieme, des Propriétés de l'Air ; le douzieme, des Pro-

priétés de l'Eau ; le treizieme , de la Nature & des Propriétés du Feu ; le quatorzieme, de la Nature & des Propriétés de la Lumiere ; là sont comprises l'Optique, la Catoptrique, la Dioptrique, & les Couleurs ; le quinzieme, de la Vision des objets, soit naturelle, soit artificielle : dans cette derniere, on trouve la description & l'usage de tous les instrumens d'Optique ; le seizieme traite de l'Astronomie physique ; le dix-septieme, du Flux & Reflux, de ses phénomenes & de ses causes ; le dix-huitieme, du Magnétisme ; le dix-neuvieme enfin traite de l'Electricité : j'y ai joint l'Analogie entre les effets du Tonnerre & ceux de l'Electricité, ainsi que les causes des Aurores boréales & des Trombes.

L'Ouvrage est terminé par une Table des Matieres, rangées par ordre alphabétique, qui en fait l'équivalent d'un Dictionnaire, au moyen duquel on pourra trouver, sur le champ, la question dont on aura besoin, & tout ce qui y a rapport.

Avis au Relieur.

Les planches doivent être placées de maniere qu'en s'ouvrant, elles puissent sortir entiérement du Livre, & se voir à droite dans l'ordre qui suit.

Tome premier.

Planche	1.	*après la page* 110.
	2.	154.
	3.	194
	4.	230.
	5.	270.
	6.	324.
	7.	346.
	8.	362.
	9.	370.
	10.	382.
	11.	396.
	12.	418.

EXTRAIT des Regiſtres de l'Académie Royale des Sciences, du 20 Décembre 1788.

MM. COUSIN & MONGE, Commiſſaires nommés par l'Académie pour examiner un Ouvrage de M. BRISSON, ayant pour titre : *Principes de Phyſique fondés ſur l'expérience*, en ayant rendu compte, l'Académie a jugé cet Ouvrage très-utile, digne d'être imprimé ſous ſon privilege.

Je certifie le préſent Extrait conforme au Jugement de l'Académie. A Paris, le 22 Décembre 1788.

LE MARQUIS DE CONDORCET.

ERRATA.

Page 65,	ligne 25,	de temps *liſez* des temps
~~162,~~	~~20,~~	~~ces *liſez* de ces~~
163,	1,	*multipliées* liſez *multipliés*
Ibid.	9,	de le *liſez* de ſe
Ibid.	10,	de ſa *liſez* de la
198,	3,	elles *liſez* elle
223,	27,	& compoſée *liſez* eſt compoſée
323,	17,	ce procédé bien *liſez* ce procédé comme bien
552,	25,	eſt en C *liſez* eſt en q

SYNONYMIE
ANCIENNE ET NOUVELLE,
PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
ACETE ammoniacal.	Acétite ammoniacal. Acétite d'ammoniaque.
Acete calcaire.	Acétite de chaux.
Acete d'argile.	Acétite alumineux.
Acete de cuivre.	Acétite de cuivre.
Acete de magnéſie.	Acétite de magnéſie.
Acete de plomb.	Acétite de plomb.
Acete de potaſſe.	Acétite de potaſſe.
Acete de ſoude.	Acétite de ſoude.
Acete de zinc.	Acétite de zinc.
Acete martial.	Acétite de fer.
Acete mercuriel.	Acétite mercuriel.
Acide acéteux.	Acide acéteux.
Acide aérien.	Acide carbonique.
Acide arſenical.	Acide arſénique.
Acide athmoſphérique.	Acide carbonique.
Acide benzonique.	Acide benzoïque.
Acide bézoardique.	Acide lithique.
Acide boracin.	Acide boracique.
Acide charbonneux.	Acide carbonique.
Acide citronien.	Acide citrique.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acide crayeux.	Acide carbonique.
Acide de l'oseille.	Acide oxalique.
Acide de l'urine.	Acide phosphorique.
Acide des fourmis.	Acide formique.
Acide des pommes.	Acide malique.
Acide du benjoin.	Acide benzoïque.
Acide du borax.	Acide boracique.
Acide du calcul.	Acide lithique.
Acide du camphre.	Acide camphorique.
Acide du sel marin.	Acide muriatique.
Acide du soufre.	Acide sulfurique.
Acide du succin.	Acide succinique.
Acide du sucre.	Acide oxalique.
Acide du sucre de lait.	Acide saccho-lactique.
Acide du suif.	Acide sébacique.
Acide du tartre.	Acide tartareux.
Acide du ver à soie.	Acide bombique.
Acide fluorique.	Acide fluorique.
Acide formicin.	Acide formique.
Acide galactique.	Acide lactique.
Acide gallique.	Acide gallique.
Acide lithiasique.	Acide lithique.
Acide malusien.	Acide malique.
Acide marin.	Acide muriatique.
Acide marin aéré. Acide marin déphlogistiqué.	Acide muriatique oxigéné.
Acide méphitique.	Acide carbonique.
Acide nitreux blanc. Acide nitreux dégasé. Acide nitreux déphlogistiqué.	Acide nitrique.

Acide

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Acide nitreux fumant. Acide nitreux phlogistiqué. Acide nitreux rutilant.	Acide nitreux.
Acide oxalin.	Acide oxalique.
Acide phosphorique. Acide phosphorique déphlogistiqué.	Acide phosphorique.
Acide phosphorique phlogistiqué. Acide phosphorique volatil.	Acide phosphoreux.
Acide régalin.	Acide nitro-muriatique.
Acide saccarin.	Acide oxalique.
Acide sacchlactique.	Acide saccho-lactique.
Acide sébacé.	Acide sébacique.
Acide sédatif.	Acide boracique.
Acide spathique.	Acide fluorique.
Acide sulfureux. Acide sulfureux volatil.	Acide sulfureux.
Acide syrupeux.	Acide pyro-mucique.
Acide tartareux.	Acide tartareux.
Acide vitriolique.	Acide sulfurique.
Acide vitriolique phlogistiqué.	Acide sulfureux.
Acier.	Acier.
Air acide vitriolique.	Gas acide sulfureux.
Air alkalin.	Gas ammoniacal.
Air athmosphérique.	Air athmosphérique.
Air déphlogistiqué. Air du feu de Scheele.	Gas oxigène.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Air factice. Air fixe.	Gas acide carbonique.
Air fixé.	Acide carbonique.
Air gâté.	Gas azotique.
Air inflammable.	Gas hydrogène.
Air inflammable des marais.	Gas hydrogène des marais.
Air marin.	Gas acide muriatique.
Air phlogiſtiqué.	Gas azotique.
Air puant du ſoufre.	Gas hydrogène ſulfuré.
Air pur.	Gas oxigène.
Air ſolide de Hales.	Gas acide carbonique.
Air vicié.	Gas azotique.
Air vital.	Gas oxigène.
Alkaeſt de Vanhelmont.	Carbonate de potaſſe.
Alkalis cauſtiques. Alkalis en général.	Alkalis.
Alkalis effervefcens.	Carbonates alkalins.
Alkali fixe du tartre cauſtique.	Potaſſe.
Alkali fixe du tartre non cauſtique.	Carbonate de potaſſe.
Alkali fixe minéral aéré. Alkali fixe minéral effervefcent.	Carbonate de ſoude.
Alkali fixe végétal. Alkali fixe végétal aéré.	Carbonate de potaſſe.
Alkali fixe végétal cauſtique.	Potaſſe.
Alkali marin. Alkali marin cauſtique.	Soude.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Alkali marin non cauſtique.	Carbonate de ſoude.
Alkali minéral.	Soude.
Alkali minéral aéré.	Carbonate de ſoude.
Alkali minéral cauſtique.	Soude.
Alkali minéral efferveſcent.	Carbonate de ſoude.
Alkali végétal.	Potaſſe.
Alkali végétal aéré.	Carbonate de potaſſe.
Alkali végétal cauſtique.	Potaſſe.
Alkali végétal efferveſcent.	Carbonate de potaſſe.
Alkali volatil. Alkali volatil cauſtique.	Ammoniaque.
Alkali volatil concret. Alkali volatil efferveſcent.	Carbonate ammoniacal.
Alkali volatil fluor. Alkali urineux.	Ammoniaque.
Alliage des métaux.	Alliage.
Alun.	Sulfate d'alumine.
Alun marin.	Muriate d'alumine.
Alun nitreux.	Nitrite d'alumine.
Amalgame.	Amalgame.
Ambre jaune.	Succin.
Antimoine crud.	Sulfure d'antimoine.
Antimoine (mine d').	Sulfure d'antimoine natif.
Aquila alba.	Muriate de mercure doux ſublimé.
Arcanum duplicatum.	Sulfate de potaſſe.
Argent.	Argent.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Argent corné.	Muriate d'argent.
Argile.	Argile, mêlange d'alumine & de ſilice.
Argile crayeuſe.	Carbonate d'alumine.
Argile pure.	Alumine.
Arſenic blanc.	Oxide d'arſenic.
Arſenic (régule d').	Arſenic.
Arſenic rouge.	Oxide d'arſenic ſulfuré rouge.
Azur.	Oxide de cobalt vitreux.

B.

BAROTE.	Baryte.
Baſe de l'air pur. / Baſe de l'air vital.	Oxigène.
Baſe de l'alun.	Alumine.
Baſe du ſel marin.	Soude.
Beurre d'antimoine.	Muriate d'antimoine fumant.
Blanc de fard.	Oxide de biſmuth blanc par l'acide nitrique.
Blanc de plomb.	Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.
Bleu de Berlin. / Bleu de Pruſſe.	Pruſſiate de fer.
Borax.	Borate.

C.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
CAUSTICUM.	Principe hypothétique de Meyer.
Céruse.	Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.
Chaleur fixée. Chaleur latente.	Calorique.
Charbon pur.	Carbone.
Chaux métalliques.	Oxides métalliques.
Chaux d'arsenic.	Oxide d'arsenic.
Chaux de plomb.	Oxide de plomb.
Chaux vive.	Chaux.
Cinnabre.	Oxide de mercure sulfuré rouge.
Cobalt. Cobolt.	Cobalt.
Colcothar.	Oxide de fer rouge.
Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différentes bases.	Savons.
Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différens acides.	Savons acides.
Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec les substances métalliques.	Savons métalliques.
Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différentes bases.	Savonules.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différens acides.	Savonules acides.
Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec les substances métalliques.	Savonules métalliques.
Combinaisons du phosphore non oxigéné avec différentes bases.	Phosphures.
Combinaisons du soufre avec les métaux.	Sulfures métalliques.
Couperose blanche.	Sulfate de zinc.
Couperose bleue.	Sulfate de cuivre.
Couperose verte.	Sulfate de fer.
Craie.	Carbonate calcaire.
Craie ammoniacale.	Carbonate ammoniacal.
Craie de plomb.	Carbonate de plomb.
Craie de soude.	Carbonate de soude.
Craie de zinc.	Carbonate de zinc.
Craie martiale.	Carbonate de fer.
Crême de chaux.	Carbonate calcaire.
Crême de tartre.	Tartrite acidule de potasse.
Cristaux de lune.	Nitrate d'argent.
Cristaux de soude,	Carbonate de soude.
Cristaux de tartre.	Tartrite acidule de potasse.
Cristaux de Vénus.	Acétite de cuivre cristallisé.
Cuivre.	Cuivre.

D.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
DIANE.	Argent.

E.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
EAU aérée.	Acide carbonique.
Eau de chaux.	Chaux dissoute dans l'eau. Eau de chaux.
Eau-forte.	Acide nitreux du commerce.
Eau mere du nitre.	Nitrate de chaux.
Eau mere du sel marin.	Muriate de chaux.
Eau régale.	Acide nitro-muriatique.
Eaux acidulées. Eaux gaseuses.	Eaux imprégnées d'acide carbonique.
Eaux hépatiques.	Eaux sulfurées. Eaux sulfureuses.
Emétique.	Tartrite de potasse antimonié.
Empyrée.	Oxigène.
Encre de sympathie par la litharge.	Acétite de plomb.
Encre de sympathie par le cobalt.	Muriate de cobalt.
Encre de sympathie par l'orpiment & la chaux.	Oxide d'arsenic sulfuré jaune & chaux, dissous dans l'eau.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Esprit acide empyreumatique du bois.	Acide pyro-lignique.
Esprit alkalin volatil.	Gas ammoniacal.
Esprit ardent.	Alcohol.
Esprit de Mendererus.	Acétite ammoniacal.
Esprit de miel, de sucre, &c.	Acide pyro-mucique.
Esprit de nitre.	Acide nitrique étendu d'eau.
Esprit de nitre dulcifié.	Alcohol nitrique.
Esprit de nitre fumant.	Acide nitreux.
Esprit de sel.	Acide muriatique.
Esprit de sel ammoniac.	Ammoniaque.
Esprit de sel fumant.	Acide muriatique.
Esprit de soufre.	Acide sulfureux.
Esprit de tartre.	Acide pyro-tartareux.
Esprit de Vénus.	Acide acétique.
Esprit de vin.	Alcohol.
Esprit de vitriol.	Acide sulfurique étendu d'eau.
Esprit recteur.	Arome.
Esprit volatil de sel ammoniac.	Ammoniaque étendu d'eau.
Esprits acides.	Acides étendus d'eau.
Essences.	Huiles volatiles.
Etain.	Etain.
Ether acéteux.	Ether acétique.
Ether marin.	Ether muriatique.
Ether nitreux.	Ether nitrique.
Ether vitriolique.	Ether sulfurique.
Ethiops martial.	Oxide de fer noir.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Ethiops minéral.	Oxide de mercure sulfuré noir.
Ethiops per se.	Oxide de mercure noirâtre.
Extrait.	Extractif (l').

F.

FÉCULES des plantes.	Fécules.
Fer.	Fer.
Fer aéré.	Carbonate de fer.
Fleurs d'arsenic.	Oxide d'arsenic blanc sublimé.
Fleurs de benjoin.	Acide benzoïque sublimé.
Fleurs de bismuth.	Oxide de bismuth sublimé.
Fleurs d'étain.	Oxide d'étain sublimé.
Fleurs de soufre.	Soufre sublimé.
Fleurs métalliques.	Oxides métalliques sublimés.
Fluides aériformes.	Gas.
Fluides élastiques.	Gas.
Fluor spathique.	Fluate de chaux.
Foies de soufre.	Sulfures.
Foies de soufre alkalins.	Sulfures alkalins.
Foies de soufre calcaires.	Sulfures calcaires.

G.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
GAS.	Gas.
Gas acide acéteux.	Gas acide acéteux.
Gas acide crayeux.	Gas acide carbonique.
Gas acide fluorique.	Gas acide fluorique.
Gas acide marin.	Gas acide muriatique.
Gas acide marin déphlogiſtiqué.	Gas muriatique oxigéné.
Gas acide muriatique.	Gas acide muriatique.
Gas acide muriatique aéré.	Gas muriatique oxigéné.
Gas acide nitreux.	Gas acide nitreux.
Gas acide ſpathique.	Gas acide fluorique.
Gas acide ſulfureux. Gas acide vitriolique.	Gas acide ſulfureux.
Gas alkali volatil. Gas alkalin.	Gas ammoniacal.
Gas athmoſphérique.	Gas azotique.
Gas hépatique.	Gas hydrogène ſulfuré.
Gas inflammable.	Gas hydrogène.
Gas inflammable carboné.	Gas hydrogène carboné.
Gas inflammable carbonique.	Gas hydrogène carbonique.
Gas inflammable charbonneux.	Gas hydrogène carboné.
Gas inflammable des marais.	Gas hydrogène des marais.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Gas inflammable mofétisé.	Gas hydrogène des marais.
Gas inflammable phosphoré.	Gas hydrogène phosphoré.
Gas inflammable sulfuré.	Gas hydrogène sulfuré.
Gas méphitique.	Gas acide carbonique.
Gas nitreux.	Gas nitreux.
Gas phlogistiqué.	Gas azotique.
Gas phosphorique.	Gas hydrogène phosphoré.
Gas sylvestre.	Gas acide carbonique.
Glaise.	Argile, mêlange d'alumine & de silice.
Gypse.	Sulfate de chaux.

H.

HÉPARS.	Sulfures.
Hépars alkalins.	Sulfures alkalins.
Huiles animales.	Huiles volatiles animales.
Huile de chaux.	Muriate calcaire.
Huile de tartre par défaillance.	Potasse mêlangée de carbonate de potasse en déliquescence.
Huile de vitriol.	Acide sulfurique.
Huiles douces.	Huiles fixes.
Huiles essentielles. Huiles éthérées.	Huiles volatiles.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Huiles grasses. Huiles par expression.	Huiles fixes.

I.

JUAN blanca.	Platine (le).
Jupiter.	Etain.

K.

KARABÉ.	Succin.
Kermès minéral.	Oxide d'antimoine sulfuré rouge.

L.

LAIT de chaux.	Chaux délayée dans l'eau.
Litharge.	Litharge. Oxide de plomb demi-vitreux.
Lune.	Argent.
Lune cornée.	Muriate d'argent.

M.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
MAGISTERE de bismuth.	Oxide de bismuth blanc par l'acide nitrique.
Mars.	Fer.
Massicot.	Oxide de plomb jaune.
Matiere de la chaleur. Matiere du feu.	Calorique.
Matiere colorante du bleu de Prusse.	Acide Prussique.
Méphite ammoniacal.	Carbonate ammoniacal.
Méphite calcaire.	Carbonate calcaire.
Méphite de plomb.	Carbonate de plomb.
Méphite de potasse.	Carbonate de potasse.
Méphite de soude.	Carbonate de soude.
Méphite de zinc.	Carbonate de zinc.
Méphite martial.	Carbonate de fer.
Mercure.	Mercure.
Mercure des métaux.	Principe hypothétique de Beccher.
Minium.	Minium. Oxide de plomb rouge.
Mine d'antimoine.	Sulfure d'antimoine natif.
Mofete athmosphérique.	Gas azotique.
Mucilage.	Muqueux (le).

N.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
NATRON. Natrum.	Carbonate de soude.
Nitre.	Nitrate de potasse. Nitre.
Nitre calcaire.	Nitrate de chaux.
Nitre cubique.	Nitrate de soude.
Nitre d'argent.	Nitrate d'argent.
Nitre fixé par lui-même.	Carbonate de potasse.
Nitre lunaire.	Nitrate d'argent.
Nitre quadrangulaire. Nitre rhomboïdal.	Nitrate de soude.

O.

OCRE.	Oxide de fer jaune.
Or.	Or.
Or fulminant.	Oxide d'or ammoniacal.
Orpiment.	Oxide d'arsenic sulfuré jaune.
Oxigine.	Oxigène.

P.

PETIT lait aigri.	Acide lactique.
Phlogistique.	Principe hypothétique de Stahl.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Phlogiſtique de M. Kirvan.	Gas hydrogène.
Phoſphore de Homberg.	Muriate calcaire ſec.
Phoſphore de Kunkel.	Phoſphore.
Pierre à cautere.	Potaſſe fondue.
Pierre calcaire.	Carbonate calcaire.
Pierre infernale.	Nitrate d'argent fondu.
Platina del Pinto.	Platine (le).
Platine (la).	
Plâtre.	Sulfate calcaire.
Plomb.	Plomb.
Plomb corné.	Muriate de plomb.
Plomb ſpathique.	Carbonate de plomb.
Plombagine.	Carbure de fer.
Potaſſe du commerce.	Carbonate de potaſſe impur.
Potée d'étain.	Oxide d'étain gris.
Pourpre de Caſſius.	Oxide d'or par l'étain.
Précipité de Caſſius.	
Précipité d'or par l'étain.	
Précipité jaune.	Oxide de mercure jaune par l'acide ſulfurique.
Précipité per ſe.	Oxide de mercure rouge par le feu.
Précipité roſe de mercure.	Phoſphate de mercure.
Précipité rouge.	Oxide de mercure rouge par l'acide nitrique.
Principe acidifiant.	Oxigène.
Principe aſtringent.	Acide gallique.
Principe charbonneux.	Carbone.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Principe de la chaleur. Principe du feu. Principe inflammable.	Calorique.
Principe mercuriel.	Principe hypothétique de Beccher.
Principe odorant.	Arome.
Principe sorbile de M. Ludbock.	Oxigène.
Pyrite de cuivre.	Sulfure de cuivre.
Pyrite martiale.	Sulfure de fer.
Pyrophore de Homberg.	Pyrophore de Homberg. Sulfure d'alumine carboné.

R.

RÉALGAL. Réalgar.	Oxide d'arsenic sulfuré rouge.
Régule d'antimoine.	Antimoine.
Régule d'arsenic.	Arsenic.
Régule de bismuth.	Bismuth.
Régule de cobalt.	Cobalt.
Régule de manganèse.	Manganèse (le).
Régule de molybdène.	Molybdène (le).
Régule de nickel.	Nickel.
Régule de zinc.	Zinc.
Rouille de cuivre.	Oxide de cuivre vert.
Rouille de fer.	Carbonate de fer.

S.

S.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
SAFRAN de Mars.	Oxide de fer.
Safran de Mars apéritif.	Carbonate de fer.
Safran de Mars astringent.	Oxide de fer brun.
Safre.	Oxide de cobalt gris avec silice. Safre.
Salmiac.	Muriate d'ammoniaque.
Salpêtre.	Nitrate de potasse. Nitre.
Saturne.	Plomb.
Sel acéteux ammoniacal.	Acétite ammoniacal.
Sel acéteux calcaire.	Acétite de chaux.
Sel acéteux d'argile.	Acétite alumineux.
Sel acéteux de zinc.	Acétite de zinc.
Sel acéteux magnésien.	Acétite de magnésie.
Sel acéteux martial.	Acétite de fer.
Sel acéteux minéral.	Acétite de soude.
Sel ammoniac.	Muriate d'ammoniaque.
Sel ammoniac fixe.	Muriate de chaux.
Sel ammoniacal crayeux.	Carbonate ammoniacal.
Sel cathartique amer.	Sulfate de magnésie.
Sel commun.	Muriate de soude.
Sel d'Angleterre.	Carbonate ammoniacal.
Sel de benjoin.	Acide benzoïque.
Sel de canal.	Sulfate de magnésie.
Sel de duobus.	Sulfate de potasse.
Sel d'epsom.	Sulfate de magnésie.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sel de glauber.	Sulfate de soude.
Sel d'oseille du commerce.	Oxalate acidule de potasse.
Sel de Saturne.	Acétite de plomb.
Sel de sedlitz.	Sulfate de magnésie.
Sel de seignette.	Tartrite de soude.
Sel de seydschutz.	Sulfate de magnésie.
Sel fixe de tartre.	Carbonate de potasse.
Sel fusible de l'urine.	Phosphate de soude & d'ammoniaque.
Sel gemme.	Muriate de soude fossile.
Sel marin.	Muriate de soude.
Sel marin argileux.	Muriate d'alumine.
Sel marin calcaire.	Muriate de chaux.
Sel natif de l'urine.	Phosphate de soude & d'ammoniaque.
Sel polychreste de Glaser.	Sulfate de potasse.
Sel polychreste de la Rochelle.	Tartrite de soude.
Sel sédatif.	Acide boracique.
Sel végétal.	Tartrite de potasse.
Sel volatil d'Angleterre.	Carbonate ammoniacal.
Sel volatil de benjoin.	Acide benzoïque sublimé.
Sel volatil de succin.	Acide succinique.
Sel volatil narcotique de vitriol.	Acide boracique.
Sels arsenicaux.	Arseniates.
Sels formés avec l'eau régale.	Nitro-muriates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaiſon de l'acide acéteux avec différentes baſes.	Acétites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide acétique avec différentes baſes.	Acétates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide benzoïque avec différentes baſes.	Benzoates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide bombique avec différentes baſes.	Bombiates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide boracique avec différentes baſes.	Borates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide camphorique avec différentes baſes.	Camphorates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide carbonique avec différentes baſes.	Carbonates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaiſon de l'acide citrique avec différentes baſes.	Citrates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide fluorique avec différentes baſes.	Fluates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide formique avec différentes baſes.	Formiates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide lactique, ou de l'acide du petit lait aigri, avec différentes baſes.	Lactates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide lithique, ou de l'acide de la pierre de la veſſie, avec différentes baſes.	Lithiates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide malique, ou de l'acide des pommes, avec différentes baſes.	Malates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide molybdique avec différentes baſes.	Molibdates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaiſon de l'acide muriatique avec différentes baſes.	Muriates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide muriatique oxigéné avec la potaſſe & la ſoude, découverts par M. Bertholet.	Muriates oxigénés.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide nitreux avec différentes baſes.	Nitrites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide nitrique avec différentes baſes.	Nitrates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide oxalique avec différentes baſes.	Oxalates.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide phoſphoreux avec différentes baſes.	Phoſphites.
Sels formés par la combinaiſon de l'acide phoſphorique avec différentes baſes.	Phoſphates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide prussique, ou matiere colorante du bleu de Prusse, avec différentes bases.	Prussiates.
Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-lignique avec différentes bases.	Pyro-lignites.
Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-mucique avec différentes bases.	Pyro-mucites.
Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-tartareux avec différentes bases.	Pyro-tartrites.
Sels formés par la combinaison de l'acide saccho-lactique avec différentes bases.	Saccho-lates.
Sels formés par la combinaison de l'acide sébacique, ou de l'acide de la graisse, avec différentes bases.	Sébates.
Sels formés par la combinaison de l'acide succinique avec différentes bases.	Succinates.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Sels formés par la combinaison de l'acide sulfureux avec différentes bases.	Sulfites.
Sels formés par la combinaison de l'acide sulfurique avec différentes bases.	Sulfates.
Sels formés par la combinaison de l'acide tartareux avec différentes bases.	Tartrites.
Sélénite.	Sulfate de chaux.
Smalt.	Oxide de cobalt vitreux.
Soleil.	Or.
Soude aérée.	Carbonate de soude.
Soude caustique.	Soude.
Soude crayeuse. Soude effervescente.	Carbonate de soude.
Soufre.	Soufre.
Spath calcaire.	Carbonate calcaire.
Spath cubique. Spath fluor.	Fluate de chaux.
Spath pesant.	Sulfate de Baryte.
Spath phosphorique. Spath vitreux.	Fluate de chaux.
Spiritus Sylvestris.	Gas acide carbonique.
Sublimé corrosif.	Muriate de mercure corrosif.
Sublimé doux.	Muriate de mercure doux.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Suc de citron.	Acide citrique.
Succin.	Succin.
Sucre de Saturne.	Acétite de plomb.

T.

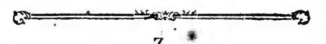
TARTRE.	Tartrite acidule de potaſſe.
Tartre antimonié.	Tartrite de potaſſe antimonié.
Tartre crayeux.	Carbonate de potaſſe.
Tartre crud.	Tartre.
Tartre de potaſſe.	Tartrite de potaſſe.
Tartre de ſoude.	Tartrite de ſoude.
Tartre émétique.	Tartrite de potaſſe antimonié.
Tartre méphitique.	Carbonate de potaſſe.
Tartre ſoluble.	Tartrite de potaſſe.
Tartre ſtibié.	Tartrite de potaſſe antimonié.
Tartre tartariſé.	Tartrite de potaſſe.
Tartre vitriolé.	Sulfate de potaſſe.
Terre argileuſe.	Argile, mélange d'alumine & de ſilice.
Terre calcaire.	Chaux.
Terre calcaire aérée.	Carbonate calcaire.
Terre calcaire effervescente.	Carbonate calcaire.
Terre de l'alun.	Alumine.
Terre du ſpath peſant.	Baryte.

Noms anciens.	*Noms nouveaux.*
Terre foliée cristallisée.	Acétite de soude.
Terre foliée du tartre.	Acétite de potasse.
Terre foliée mercurielle.	Acétite de mercure.
Terre foliée minérale.	Acétite de soude.
Terre glaiseuse.	Argile, mélange d'alumine & de silice.
Terre pesante.	Baryte.
Terre pesante aérée.	Carbonate de baryte.
Terre siliceuse.	Silice. Terre silicée.
Turbith minéral.	Oxide de mercure jaune par l'acide sulfurique.
Turbith nitreux.	Oxide de mercure jaune par l'acide nitrique.

V.

VÉNUS.	Cuivre.
Verdet. Verdet distillé du commerce.	Acétite de cuivre.
Vert-de-gris.	Oxide de cuivre vert.
Verre d'antimoine.	Oxide d'antimoine sulfuré vitreux.
Vif-argent.	Mercure.
Vinaigre de Saturne.	Acétite de plomb.
Vinaigre distillé.	Acide acéteux.
Vinaigre radical.	Acide acétique.
Vitriol blanc.	Sulfate de zinc.
Vitriol bleu.	Sulfate de cuivre.

Noms anciens.	Noms nouveaux.
Vitriol calcaire.	Sulfate de chaux.
Vitriol d'argile.	Sulfate d'alumine.
Vitriol de chaux.	Sulfate de chaux.
Vitriol de Chypre.	} Sulfate de cuivre.
Vitriol de cuivre.	
Vitriol de fer.	Sulfate de fer.
Vitriol de Goflard.	Sulfate de zinc.
Vitriol de Mars.	Sulfate de fer.
Vitriol de potaſſe.	Sulfate de potaſſe.
Vitriol de ſoude.	Sulfate de ſoude.
Vitriol de Vénus.	Sulfate de cuivre.
Vitriol de zinc.	Sulfate de zinc.
Vitriol magnéſien.	Sulfate de magnéſie.
Vitriol martial.	} Sulfate de fer.
Vitriol vert.	



Z.

ZINC.	Zinc.

Fin de la Synonymie ancienne & nouvelle.

SYNONYMIE
NOUVELLE ET ANCIENNE,
PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
ACÉTATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide acétique, ou vinaigre radical, avec différentes bases.
Acétites.	Sels formés par la combinaison de l'acide acéteux, ou vinaigre distillé, avec différentes bases.
Acétite alumineux.	Acete d'argile. Sel acéteux d'argile.
Acétite ammoniacal.	Acete ammoniacal. Esprit de Mendererus. Sel acéteux ammoniacal.
Acétite d'ammoniaque.	Acete ammoniacal.
Acétite de chaux.	Acete calcaire. Sel acéteux calcaire.
Acétite de cuivre.	Acete de cuivre. Verdet. Verdet distillé du commerce.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acétite de cuivre criſtalliſé.	Criſtaux de Vénus.
Acétite de fer.	Acete martial. Sel acéteux martial.
Acétite de magnéſie.	Acete de magnéſie. Sel acéteux magnéſien.
Acétite de mercure.	Acete mercuriel. Terre foliée mercurielle.
Acétite de plomb.	Acete de plomb. Encre de ſympathie par la litharge. Sel de Saturne. Sucre de Saturne. Vinaigre de Saturne.
Acétite de potaſſe.	Acete de potaſſe. Terre foliée du tartre.
Acétite de ſoude.	Acete de ſoude. Sel acéteux minéral. Terre foliée criſtalliſée. Terre foliée minérale.
Acétite de zinc.	Acete de zinc. Sel acéteux de zinc.
Acide acéteux.	Acide acéteux. Vinaigre diſtillé.
Acide acétique.	Eſprit de Vénus. Vinaigre radical.
Acide arſenique.	Acide arſenical.
Acide benzoïque.	Acide benzonique. Acide du benjoin. Sel de benjoin.
Acide benzoïque ſublimé.	Fleurs de benjoin. Sel volatil de benjoin.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide bombique.	Acide du ver à ſoie.
Acide boracique.	Acide boracin. Acide du borax. Acide ſédatif. Sel ſédatif. Sel volatil narcotique de vitriol.
Acide carbonique.	Acide aérien. Acide athmoſphérique. Acide charbonneux. Acide crayeux. Acide méphitique. Air fixé. Eau aérée.
Acide camphorique.	Acide du camphre.
Acide citrique.	Acide citronien. Suc de citron.
Acide fluorique.	Acide fluorique. Acide ſpathique.
Acide formique.	Acide des fourmis. Acide formicin.
Acide gallique.	Acide gallique. Principe aſtringent.
Acide lactique.	Acide galactique. Petit lait aigri.
Acide lithique.	Acide bezoardique. Acide du calcul. Acide lithiaſique.
Acide maſique.	Acide des pommes. Acide maluſien.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide muriatique.	Acide du ſel marin. Acide marin. Eſprit de ſel. Eſprit de ſel fumant.
Acide muriatique oxigéné.	Acide marin aéré. Acide marin déphlogiſtiqué.
Acide nitreux.	Acide nitreux fumant. Acide nitreux phlogiſtiqué. Acide nitreux rutilant. Eſprit de nitre fumant.
Acide nitreux du commerce.	Eau-forte.
Acide nitrique.	Acide nitreux blanc. Acide nitreux dégaſé. Acide nitreux déphlogiſtiqué.
Acide nitrique étendu d'eau.	Eſprit de nitre.
Acide nitro-muriatique.	Acide régalin. Eau régale.
Acide oxalique.	Acide de l'oſeille. Acide du ſucre. Acide oxalin. Acide ſaccarin.
Acide phoſphoreux,	Acide phoſphorique phlogiſtiqué. Acide phoſphorique volatil.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Acide phoſphorique.	Acide de l'urine. Acide phoſphorique. Acide phoſphorique déphlogiſtiqué.
Acide pruſſique.	Matiere colorante du bleu de Pruſſe.
Acide pyro-lignique.	Eſprit acide empyreumatique du bois.
Acide pyro-mucique.	Acide ſyrupeux. Eſprit de miel, de ſucre, &c.
Acide pyro-tartareux.	Eſprit de tartre.
Acide ſaccho-lactique.	Acide du ſucre de lait. Acide ſacchlactique.
Acide ſébacique.	Acide du ſuif. Acide ſébacé.
Acide ſuccinique.	Acide du ſuccin. Sel volatil de ſuccin.
Acide ſulfureux.	Acide ſulfureux. Acide ſulfureux volatil. Acide vitriolique phlogiſtiqué. Eſprit de ſoufre.
Acide ſulfurique.	Acide du ſoufre. Acide vitriolique. Huile de vitriol.
Acide ſulfurique étendu d'eau.	Eſprit de vitriol.
Acide tartareux.	Acide du tartre. Acide tartareux.
Acides étendus d'eau.	Eſprits acides.
Acier.	Acier.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Air athmoſphérique.	Air athmoſphérique.
Alcohol.	Eſprit ardent. Eſprit-de-vin.
Alcohol nitrique.	Eſprit de nitre dulcifié.
Alkalis.	Alkalis cauſtiques. Alkalis en général.
Alliage.	Alliage des métaux.
Alumine.	Argile pure. Baſe de l'alun. Terre de l'alun.
Amalgame.	Amalgame.
Ammoniaque.	Alkali volatil. Alkali volatil cauſtique. Alkali volatil fluor. Alkali urineux.
Ammoniaque étendu d'eau.	Alkali volatil de ſel ammoniac.
Antimoine.	Régule d'antimoine.
Argent.	Argent. Diane. Lune.
Argile, mêlange d'alumine & de ſilice.	Argile. Glaiſe. Terre argileuſe. Terre glaiſe.
Arome.	Eſprit recteur. Principe odorant.
Arſeniates.	Sels arſenicaux.
Arſenic.	Régule d'arſenic.

B.

B.

Noms nouveaux.	Noms anciens.
BARYTE.	Barote. Terre du ſpath peſant. Terre peſante.
Benzoates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide benzoïque avec différentes baſes.
Biſmuth.	Régule de biſmuth.
Bombiates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide bombique avec différentes baſes.
Borate.	Borax.
Borates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide boracique avec différentes baſes.

C.

CALORIQUE.	Chaleur fixée. Chaleur latente. Matiere de la chaleur. Matiere du feu. Principe de la chaleur. Principe du feu. Principe inflammable.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Camphorates.	Sels formés par la combinaison de l'acide camphorique avec différentes bases.
Carbonates.	Sels formés par la combinaison de l'acide carbonique avec différentes bases.
Carbonates alkalins.	Alkalis effervescens.
Carbonate ammoniacal.	Alkali volatil concret. Alkali volatil effervescent. Craie ammoniacale. Méphite ammoniacal. Sel ammoniac crayeux. Sel d'Angleterre. Sel volatil d'Angleterre.
Carbonate calcaire.	Craie. Crême de chaux. Méphite calcaire. Pierre calcaire. Spath calcaire. Terre calcaire aérée. Terre calcaire effervescente.
Carbonate d'alumine.	Argile crayeuse.
Carbonate de baryte.	Terre pesante aérée.
Carbonate de fer.	Craie martiale. Fer aéré. Méphite martial. Rouille de fer. Safran de Mars apéritif.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Carbonate de plomb.	Craie de plomb. Méphite de plomb. Plomb ſpathique.
Carbonate de potaſſe.	Alkaeſt de Vanhelmont. Alkali fixe du tartre non cauſtique. Alkali fixe végétal. Alkali fixe végétal aéré. Alkali fixe végétal effervefcent. Alkali végétal aéré. Méphite de potaſſe. Nitre fixé par lui-même. Sel fixe de tartre. Tartre crayeux. Tartre méphitique.
Carbonate de potaſſe impur.	Potaſſe du commerce.
Carbonate de ſoude.	Alkali fixe minéral aéré. Alkali fixe minéral effervefcent. Alkali marin non cauſtique. Alkali minéral aéré. Alkali minéral effervefcent. Baſe du ſel marin. Craie de ſoude. Criſtaux de ſoude. Méphite de ſoude. Natron. Natrum.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Carbonate de soude.	Soude aérée. Soude crayeuse. Soude effervescente.
Carbonate de zinc.	Craie de zinc. Méphite de zinc.
Carbone.	Charbon pur. Principe charbonneux.
Carbure de fer.	Plombagine.
Chaux.	Chaux vive. Terre calcaire.
Chaux délayée dans l'eau.	Lait de chaux.
Chaux dissoute dans l'eau.	Eau de chaux.
Citrates.	Sels formés par la combinaison de l'acide citrique avec différentes bases.
Cobalt.	Cobalt. Cobolt. Régule de cobalt.
Cuivre.	Cuivre. Vénus.

E.

Eau de chaux.	Eau de chaux.
Eaux imprégnées d'acide carbonique.	Eaux acidules. Eaux gaseuses.
Eaux sulfurées. Eaux sulfureuses.	Eaux hépatiques.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Etain.	Etain. Jupiter.
Ether.	Ether.
Ether acétique.	Ether acéteux.
Ether muriatique.	Ether marin.
Ether nitrique.	Ether nitreux.
Ether sulfurique.	Ether vitriolique.
Extractif (l').	Extrait.

F.

FÉCULE.	Fécule des plantes.
Fer.	Fer. Mars.
Fluates.	Sels formés par la combinaison de l'acide fluorique avec différentes bases.
Fluate de chaux.	Fluor spathique. Spath cubique. Spath fluor. Spath phosphorique. Spath vitreux.
Formiates.	Sels formés par la combinaison de l'acide formique avec différentes bases.

G.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
GAZ.	Fluides aériformes. Fluides élastiques. Gas.
Gas acide acéteux.	Gas acide acéteux.
Gas acide carbonique.	Air factice. Air fixe. Air solide de Hales. Gas acide crayeux. Gas méphitique. Gas sylvestre, Spiritus Sylvestris.
Gas acide fluorique.	Gas acide fluorique. Gas acide spathique.
Gas acide muriatique.	Air marin. Gas acide marin. Gas acide muriatique.
Gas acide nitreux.	Gas acide nitreux.
Gas acide sulfureux.	Air acide vitriolique. Gas acide sulfureux. Gas acide vitriolique.
Gas ammoniacal.	Air alkalin. Esprit alkalin volatil. Gas alkali volatil, Gas alkalin.
Gas azotique.	Air gâté. Air phlogistiqué. Air vicié.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Gas azotique.	Gas athmosphérique. Gas phlogistiqué. Mofete athmosphérique.
Gas hydrogène.	Air inflammable. Gas inflammable. Phlogistique de M. Kirvan.
Gas hydrogène carboné.	Gas inflammable carboné. Gas inflammable charbonneux.
Gas hydrogène carbonique.	Gas inflammable carbonique.
Gas hydrogène des marais.	Air inflammable des marais. Gas inflammable des marais. Gas inflammable mofétisé.
Gas hydrogène phosphoré.	Gas inflammable phosphoré. Gas phosphorique.
Gas hydrogène sulfuré.	Air puant du soufre. Gas hépatique. Gas inflammable sulfuré.
Gas muriatique oxigéné.	Gas acide marin déphlogistiqué. Gas acide muriatique aéré.
Gas nitreux.	Gas nitreux.

Noms nouveaux.	*Noms anciens,*
Gas oxigène.	Air déphlogistiqué, Air du feu de Scheele. Air pur. Air vital.

H.

HUILES empyreumatiques.	Huiles empyreumatiques.
Huiles fixes.	Huiles douces. Huiles grasses. Huiles par expression,
Huiles volatiles.	Essences. Huiles essentielles. Huiles éthérées,
Huiles volatiles animales.	Huiles animales.

L.

LACTATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide lactique, ou de l'acide du petit lait aigri, avec différentes bases.
Litharge.	Litharge.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Lithiates.	Sels formés par la combinaison de l'acide lithique, ou de l'acide de la pierre de la vessie, avec différentes bases.

M.

MALATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide malique, ou de l'acide des pommes, avec différentes bases.
Manganèse (le).	Régule de manganèse.
Mercure.	Mercure. Vif-argent.
Minium.	Minium.
Molibdates.	Sels formés par la combinaison de l'acide molybdique avec différentes bases.
Molybdène (le).	Régule de molybdène.
Muqueux (le).	Mucilage.
Muriates.	Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique avec différentes bases.
Muriate calcaire.	Huile de chaux.
Muriate calcaire sec.	Phosphore de Homberg.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Muriate d'alumine.	Alun marin. Sel marin argileux.
Muriate d'ammoniaque.	Salmiac. Sel ammoniac,
Muriate d'antimoine fumant.	Beurre d'antimoine.
Muriate d'argent.	Argent corné. Lune cornée.
Muriate de chaux.	Eau mere du sel marin. Sel ammoniac fixe. Sel marin calcaire.
Muriate de cobalt.	Encre de sympathie par le cobalt.
Muriate de mercure corrosif.	Sublimé corrosif.
Muriate de mercure doux.	Sublimé doux.
Muriate de mercure doux sublimé.	Aquila alba.
Muriate de plomb.	Plomb corné.
Muriate de soude.	Sel commun, Sel marin.
Muriate de soude fossile.	Sel gemme.
Muriates oxigénés.	Sels formés par la combinaison de l'acide muriatique oxigéné avec la potasse & la soude, découverts par M. Bertholet.

N.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
NICKEL.	Régule de nickel.
Nitrates,	Sels formés par la combinaison de l'acide nitrique avec différentes bases.
Nitrate d'argent.	Cristaux de lune. Nitre d'argent. Nitre lunaire.
Nitrate d'argent fondu.	Pierre infernale.
Nitrate de chaux.	Eau mere du nitre. Nitre calcaire.
Nitrate de potasse.	Nitre. Salpêtre. Sel de nitre.
Nitrate de soude.	Nitre cubique. Nitre quadrangulaire. Nitre rhomboïdal.
Nitre.	Nitre. Salpêtre. Sel de nitre.
Nitrites.	Sels formés par la combinaison de l'acide nitreux avec différentes bases.
Nitrite d'alumine.	Alun nitreux.
Nitro-muriates.	Sels formés par la combinaison de l'acide nitro-muriatique avec différentes bases.

O.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
OR.	Or. Soleil.
Oxalates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide oxalique avec différentes baſes.
Oxalate acidule de potaſſe.	Sel d'oſeille du commerce.
Oxides métalliques.	Chaux métalliques.
Oxides métalliques ſublimés.	Fleurs métalliques.
Oxide d'antimoine ſulfuré rouge.	Kermès minéral.
Oxide d'antimoine ſulfuré vitreux.	Verre d'antimoine.
Oxide d'arſenic.	Arſenic blanc. Chaux d'arſenic.
Oxide d'arſenic blanc ſublimé.	Fleurs d'arſenic.
Oxide d'arſenic ſulfuré jaune.	Orpiment.
Oxide d'arſenic ſulfuré jaune & chaux, diſſous dans l'eau.	Encre de ſympathie par l'orpiment & la chaux.
Oxide d'arſenic ſulfuré rouge.	Arſenic rouge. Réalgal. Réalgar.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Oxide de bismuth blanc par l'acide nitrique.	Blanc de fard. Magistere de bismuth.
Oxide de bismuth sublimé.	Fleurs de bismuth.
Oxide de cobalt gris avec silice.	Safre.
Oxide de cobalt vitreux.	Azur. Smalt.
Oxide de cuivre vert.	Rouille de cuivre. Vert-de-gris.
Oxide d'étain gris.	Potée d'étain.
Oxide d'étain sublimé.	Fleurs d'étain.
Oxide de fer.	Safran de Mars.
Oxide de fer brun.	Safran de Mars astringent.
Oxide de fer jaune.	Ocre.
Oxide de fer noir.	Ethiops martial.
Oxide de fer rouge.	Colcothar.
Oxide de mercure jaune par l'acide nitrique.	Turbith nitreux.
Oxide de mercure jaune par l'acide sulfurique.	Précipité jaune. Turbith minéral.
Oxide de mercure noirâtre.	Ethiops per se.
Oxide de mercure rouge par l'acide nitrique.	Précipité rouge.
Oxide de mercure rouge par le feu.	Précipité per se.
Oxide de mercure sulfuré noir.	Ethiops minéral.
Oxide de mercure sulfuré rouge.	Cinnabre.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Oxide d'or ammoniacal.	Or fulminant.
Oxide d'or par l'étain.	Pourpre de Cassius. Précipité de Cassius. Précipité d'or par l'étain.
Oxide de plomb.	Chaux de plomb.
Oxide de plomb blanc par l'acide acéteux.	Blanc de plomb. Céruse.
Oxide de plomb demi-vitreux.	Litharge.
Oxide de plomb jaune.	Massicot.
Oxide de plomb rouge.	Minium.
Oxigène.	Base de l'air pur. Base de l'air vital. Empyrée. Oxigine. Principe acidifiant. Principe sorbile de M. Ludbock.

P.

PHOSPHATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide phosphorique avec différentes bases.
Phosphate de mercure.	Précipité rose de mercure.
Phosphate de soude & d'ammoniaque.	Sel fusible de l'urine. Sel natif de l'urine.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Phoſphites.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide phoſphoreux avec différentes baſes.
Phoſphore.	Phoſphore de Kunckel.
Phoſphures.	Combinaiſons du phoſphore non oxigéné avec différentes baſes.
Platine (le).	Juan blanca. Platina del Pinto. Platine (la).
Plomb.	Plomb. Saturne.
Potaſſe.	Alkali fixe du tartre cauſtique. Alkali fixe végétal cauſtique. Alkali végétal. Alkali végétal cauſtique.
Potaſſe fondue.	Pierre à cautere.
Potaſſe mêlangée de carbonate de potaſſe en déliqueſcence.	Huile de tartre par défaillance.
Principe hypothétique de Beccher.	Mercure des métaux. Principe mercuriel.
Principe hypothétique de Meyer.	Cauſticum.
Principe hypothétique de Stahl.	Phlogiſtique.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Prussiates.	Sels formés par la combinaison de l'acide prussique, ou matiere colorante du bleu de Prusse, avec différentes bases.
Prussiate de fer.	Bleu de Berlin. Bleu de Prusse.
Pyro-lignites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-lignique avec différentes bases.
Pyro-mucites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-mucique avec différentes bases.
Pyro-tartrites.	Sels formés par la combinaison de l'acide pyro-tartareux avec différentes bases.
Pyrophore de Homberg.	Pyrophore de Homberg.

S.

S.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
SACCHO-LATES.	Sels formés par la combinaison de l'acide saccho-lactique avec différentes bases.
Safre.	Safre.
Savons.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différentes bases.
Savons acides.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec différens acides.
Savons métalliques.	Combinaisons des huiles grasses ou fixes avec les substances métalliques.
Savonules.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différentes bases.
Savonules acides.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec différens acides.
Savonules métalliques.	Combinaisons des huiles volatiles ou essentielles avec les substances métalliques.

Noms nouveaux.	Noms anciens.
Sébates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſébacique, ou de l'acide de la graiſſe, avec différentes baſes.
Silice.	Terre ſiliceuſe.
Soude.	Alkali marin. Alkali marin cauſtique. Alkali minéral. Alkali minéral cauſtique. Baſe du ſel marin. Soude cauſtique.
Soufre.	Soufre.
Soufre ſublimé.	Fleurs de ſoufre.
Succin.	Ambre jaune. Karabé. Succin.
Succinates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſuccinique avec différentes baſes.
Sulfates.	Sels formés par la combinaiſon de l'acide ſulfurique avec différentes baſes.
Sulfate d'alumine.	Alun. Vitriol d'argile.
Sulfate calcaire.	Plâtre.
Sulfate de Baryte.	Spath peſant.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sulfate de chaux.	Gypſe. Sélénite. Vitriol calcaire. Vitriol de chaux.
Sulfate de cuivre.	Couperoſe bleue. Vitriol bleu. Vitriol de Chypre. Vitriol de cuivre. Vitriol de Vénus.
Sulfate de fer.	Couperoſe verte. Vitriol de fer. Vitriol de Mars. Vitriol martial. Vitriol vert.
Sulfate de magnéſie.	Sel cathartique amer. Sel de canal. Sel d'epſom. Sel de ſedlitz. Sel de ſeydſchutz. Vitriol magnéſien.
Sulfate de potaſſe.	Arcanum duplicatum. Sel de duobus. Sel polychreſte de Glaſer. Tartre vitriolé. Vitriol de potaſſe.
Sulfate de ſoude.	Sel de glauber. Vitriol de ſoude.
Sulfate de zinc.	Couperoſe blanche. Vitriol blanc. Vitriol de Goſlard. Vitriol de zinc.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
Sulfites.	Sels formés par la combinaison de l'acide sulfureux avec différentes bases.
Sulfures.	Foies de soufre. Hépars.
Sulfures alkalins.	Foies de soufre alkalins. Hépars alkalins.
Sulfures calcaires.	Foies de soufre calcaires.
Sulfure d'alumine carboné.	Pyrophore de Homberg.
Sulfure d'antimoine.	Antimoine crud.
Sulfure d'antimoine natif.	Mine d'antimoine.
Sulfure de cuivre.	Pyrite de cuivre.
Sulfure de fer.	Pyrite martiale.
Sulfures métalliques.	Combinaisons du soufre avec les métaux.

T.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
TARTRE.	Tartre crud.
Tartrites.	Sels formés par la combinaison de l'acide tartareux avec différentes bases.
Tartrite acidule de potasse.	Crême de tartre. Cristaux de tartre. Tartre.
Tartrite de chaux.	Tartre calcaire.
Tartrite de potasse.	Sel végétal. Tartre de potasse. Tartre soluble. Tartre tartarisé.
Tartrite de potasse antimonié.	Emétique. Tartre antimonié. Tartre émétique. Tartre stibié.
Tartrite de soude.	Sel de seignette. Sel polychreste de la Rochelle. Tartre de soude.
Terre silicée.	Terre siliceuse.

Z.

Noms nouveaux.	*Noms anciens.*
ZINC.	Régule de zinc. Zinc.

Fin de la Synonymie nouvelle & ancienne.

TABLE
DES CHAPITRES.

Les chiffres indiquent les Articles, & non les pages.

Microscope

Fin de la Table des Chapitres.

TRAITÉ



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE,

Ou Principes de Phyſique, fondés ſur les connoiſſances les plus certaines, tant anciennes que modernes, & confirmés par l'expérience.

1. LA Phyſique eſt, de toutes les Sciences, la plus étendue; elle a pour objet tous les corps de la Nature. On ne pourroit tout au plus lui comparer, à cet égard, que l'Hiſtoire Naturelle: encore l'objet de cette derniere n'eſt-il pas auſſi général; car elle ne traite que des ſubſtances terreſtres: & le domaine de la Phyſique n'eſt pas reſtreint à la terre; il s'étend juſque dans les cieux.

2. L'objet de la Phyſique, & principalement de la Phyſique expérimentale, qui eſt celle dont nous traitons, eſt de connoître les phénomenes de

la Nature, & d'en montter les causes par des preuves de fait. C'est par les faits que nous acquérons la connoissance des phénomenes; & d'autres faits nous en démontrent les causes.

3. Il y a cependant un certain nombre de faits dont nous ignorons complettement la cause; car nous ne savons pas tout, à beaucoup près. Ceux de ces faits qui sont toujours uniformes, toujours constans, sont ce que les Physiciens appellent *Propriétés*; & ils en font usage pour rendre raison d'un grand nombre de phénomenes. Nous ne connoissons pas toutes les propriétés des corps: une preuve de cela, c'est que nous en découvrons de temps en temps de nouvelles. Et qui est-ce qui peut assurer avoir découvert la derniere? Parmi celles qui sont connues, les unes appartiennent à tous les corps indistinctement; les autres n'appartiennent qu'à certains corps, exclusivement à d'autres. Les premieres s'appellent *Propriétés générales*: telles sont l'*Etendue*, la *Divisibilité*, la *Figurabilité*, l'*Impénétrabilité*, la *Porosité*, la *Raréfactibilité*, la *Condensabilité*, la *Compressibilité*, l'*Elasticité*, la *Dilatabilité*, la *Mobilité*, & l'*Inertie*. On nomme les secondes, *Propriétés particulieres*: telles sont la *Malléabilité*, la *Fluidité*, la *Liquidité*, &c.

Nous allons traiter d'abord des propriétés générales: nous traiterons ensuite des particulieres.

CHAPITRE I.

Des Propriétés générales des corps.

4. ON appelle *Corps*, toutes les ſubſtances matérielles dont l'aſſemblage compoſe l'Univers, & qui ſe font ſentir à nous par le moyen de quelques-uns de nos ſens.

5. On ne peut connoître les propriétés des corps que par l'expérience : nous devons donc regarder comme des propriétés générales, celles qui ſe trouvent dans tous les corps, & que nos ſens nous y font appercevoir.

Étendue.

6. Ce qui ſe préſente le premier à nos ſens ou même à nos idées, lorſque nous examinons ou que nous concevons un corps, c'eſt ſon *Étendue* ; c'eſt-à-dire, une grandeur déterminée, dans laquelle nous concevons toujours une agrégation de parties. Cette étendue a toujours trois dimenſions, *longueur*, *largeur*, & *profondeur* ou *épaiſſeur*, que les Géometres conſiderent ſouvent & meſurent ſéparément l'une de l'autre, mais que les Phyſiciens ne ſéparent jamais, car ils regardent toujours les choſes telles qu'elles ſont. Or chaque corps,

quelque petit qu'il ſoit, a toujours un deſſus & un deſſous, une partie antérieure & une partie poſtérieure, un côté droit & un côté gauche : toutes ces choſes, priſes enſemble, forment néceſſairement une longueur, une largeur, & une épaiſſeur. Chaque corps ayant ces trois dimenſions, eſt donc néceſſairement *étendu*. Il eſt vrai que nous ne voyons pas ces trois dimenſions dans tous les corps; il y en a de ſi petits, que nos yeux ne peuvent les appercevoir, ni nos doigts les diſtinguer : mais comme dans tous les corps qui tombent ſous nos ſens, nous appercevons cette étendue, nous pouvons affirmer qu'elle appartient à tous les corps en général.

Diviſibilité.

7. Nous ne pouvons pas avoir l'idée d'un corps, ſans concevoir une agrégation de parties (6) : nous regardons donc tous les corps comme compoſés de parties. Il eſt aiſé de concevoir que ces parties, ainſi réunies pour former un corps, peuvent être ſéparées les unes des autres : cela étant ainſi, tous les corps ſont diviſibles. La *Diviſibilité* eſt donc une propriété générale des corps; & il n'y a de réellement indiviſible que les atomes, en cas qu'ils exiſtent. Cette diviſibilité eſt prouvée relativement aux corps d'une grandeur ſenſible : perſonne n'ignore qu'un tel corps peut être partagé en 2, en 4, en

6, en 10, en 1000, &c. Mais jusqu'où va cette divisibilité? Lorsqu'on a poussé la division jusqu'à un certain point, les corps cessent-ils d'être divisibles, ou le sont-ils à l'infini? C'est une question qui a occupé les Physiciens beaucoup plus qu'elle ne le mérite. Il est sûr que la division des corps peut être portée fort loin, & plus loin même que l'imagination n'eût pu le faire croire, si elle n'avoit été aidée par les faits. Aussi n'y a-t-il que cette divisibilité en parties extrêmement ténues, qui puisse être prouvée par l'expérience.

Expérience. Que l'on divise un morceau de bois au point de le réduire en poussiere impalpable; chacune de ces molécules de bois, toute petite qu'elle est, est encore très-divisible; car elle est encore bois, & par conséquent un être composé de principes très-différens les uns des autres, tels que d'eau, de terre, de parties huileuses, salines, &c. qu'on peut séparer par la combustion, & dont les uns se dissipent sous la forme de flamme, & d'autres sous celle de fumée, tandis que d'autres demeurent fixes & forment de la cendre, du sel, &c. Quelle division ne faut-il pas pour cela?

Expérience. Si vous faites dissoudre quelques grains de cuivre dans un peu d'acide nitreux, & que vous étendiez cette dissolution d'une assez grande quantité d'eau, toute la liqueur en sera sensiblement teinte. Quelle extrême division ne

faut-il pas encore pour cela ? Car pour que la couleur ſoit ſenſible, il doit y en avoir pluſieurs particules en chaque goutte d'eau. Cependant chacune de ces particules eſt encore diviſible ; car elle eſt encore du cuivre, que l'on peut recueillir en faiſant évaporer le diſſolvant : elle eſt donc un être encore composé de principes très-différens les uns des autres.

Expérience. Si vous vous promenez dans un jardin garni de fleurs & d'arbres odorans, tels que des orangers, des roſiers, des tubéreuſes, &c. l'air eſt tellement parfumé de l'odeur de ces fleurs, qu'on la ſent par-tout. Juſqu'à quel degré de ténuité ne doivent pas être réduites ces petites particules odorantes, & juſqu'à quel point ne doit pas être portée leur diviſion, pour être diſtribuées dans un auſſi grand eſpace, elles qui en occupoient un ſi petit dans la fleur qui les a fournies ? Cependant elles ſont encore diviſibles ; car il eſt probable que la maniere dont chacune affecte notre organe, & qui la fait ſi bien diſtinguer des autres, dépend de la différente combinaiſon des principes qui la conſtituent telle.

8. On pourroit citer encore beaucoup d'exemples, qui prouvent tous que la matiere eſt diviſible en parties encore plus ténues que tout ce que nous pouvons nous imaginer de plus délié : tels ſont les Arts du Batteur d'or, du Fileur d'or, du

Teinturier, &c. Le Batteur d'or eſt celui qui réduit l'or en feuilles minces, telles que celles dont nous faiſons uſage pour nos dorures. Le degré d'amincifſement de ces feuilles eſt tel, que, ſuivant les obſervations de *Réaumur*, il en faudroit environ trente mille les unes ſur les autres, pour faire l'épaiſſeur d'une ligne. Et ſelon *Boyle* (*de Mirâ Subtilitate Effluviorum*, *cap.* 2.), 50 pouces quarrés de ces feuilles ne peſent qu'un grain. Mais un pouce peut être diviſé en 200 : chaque pouce quarré fournira donc 200 petites bandes; & chaque bande 200 petits quarrés, dont chacun s'apperçoit aiſément à l'œil, & eſt par conſéquent encore très-diviſible. Chaque pouce quarré donnera donc 40000 parties viſibles, qui, multipliées par 50, nombre de pouces quarrés que peut fournir un grain d'or, donnent 2000000. L'Art du Fileur d'or offre encore un réſultat plus ſurprenant : il a été bien obſervé par *Réaumur*. (*Mém. de l'Acad. des Sc. année* 1713, *page* 204 *& ſuiv.*) Le Fileur d'or eſt celui qui prépare le fil d'argent doré dont on ſe ſert pour fabriquer les étoffes, les galons, la broderie, &c. Avec une quantité de feuilles d'or, qui n'excede jamais le poids de ſix onces, & qu'on diminue quelquefois preſque juſqu'à une, on couvre un cylindre d'argent d'environ 22 pouces de longueur, 15 lignes de diametre, & du poids de 45 marcs. On fait paſſer ce rouleau doré ſucceſſivement

par les trous d'une lame d'acier, qui vont en décroissant, de façon qu'en s'alongant aux dépens de son diametre, il devient aussi délié qu'un cheveu, & d'une longueur qui égale celle de 193920 toises ou de près de 85 lieues de 2283 toises chacune. Pendant cette opération, l'or s'étend sur le fil d'argent, de façon que l'argent ne demeure découvert nulle part. On passe ensuite ce fil doré entre deux rouleaux d'acier poli, pour en former une lame, ce qui l'alonge encore d'un septieme ; & cette lame se trouve dorée dessus & dessous. Cela fournit donc deux lames d'or de chacune 97 lieues de long. En combien de parties ne pourroit-on pas diviser une pareille longueur ? Mais la couche d'or, en s'étendant, s'amincit au point que, selon *Réaumur*, elle n'a plus que la 525000e partie d'une ligne d'épaisseur. Doit-on être étonné, d'après cela, que le frottement fasse si promptement, de nos galons d'or, des galons d'argent ? L'Art du Teinturier ne prouve pas moins la prodigieuse divisibilité de la matiere. Il ne faut qu'une petite quantité de matiere colorante, pour teindre une piece de drap. Supposons qu'on mette bout à bout tous les brins de laine qui composent cette piece. Quelle prodigieuse longueur cela ne donneroit-il pas ? Combien de fois y pourroit-on passer le cifeau ? Chaque partie détachée seroit un petit cercle, coloré dans toute sa circonférence, & qui

pourroit se diviser au moins en 360 parties, comme le font les Géometres. L'imagination se refuse presque à de pareils nombres.

9. Mais quand nous avons poussé aussi loin que nous le pouvons la division des corps, & que les moyens de la pousser plus loin nous manquent, que devons-nous penser du reste? La matiere est-elle enfin divisible à l'infini, ou non? C'est une question à laquelle il est difficile de répondre, mais qui heureusement nous importe peu. Quant à nous, nous croyons devoir regarder la matiere en elle-même comme divisible à l'infini, ou du moins à l'indéfini; c'est-à-dire que nous ne connoissons point de terme de division, après lequel on puisse regarder chaque molécule de la matiere, ainsi divisée, comme indivisible en elle-même, quoique nous manquions d'agens pour entamer ces petites masses: car chacune de ces molécules est une agrégation de parties (6); chacune contient deux moitiés réunies, que l'on conçoit pouvoir être séparées; après laquelle séparation on en pourroit dire autant de chacune de ces moitiés, & ainsi de suite à l'infini. Voici donc à quoi peut se réduire la question. La divisibilité idéale, celle que l'on peut concevoir, n'a point de bornes. La divisibilité physique, possible à l'infini ou non, est une affaire de systême, est une question qui ne pourra jamais être décidée, parce qu'il y aura toujours un terme

après lequel nous manquerons de moyens. Enfin la divisibilité portée jusqu'à un point extrême, & en parties encore plus ténues que tout ce que nous pouvons nous imaginer de plus délié, est la seule certaine, la seule que l'expérience peut prouver.

Figurabilité.

10. On entend par ce mot *Figurabilité*, la propriété qu'ont tous les corps d'avoir toujours une figure quelconque. En effet, il est aisé de concevoir qu'aucun corps ne peut exister sans être figuré. Car chaque corps, grand ou petit, est composé d'une certaine quantité de matiere, que l'on appelle sa *masse* : cette masse occupe plus ou moins d'espace ; c'est ce qu'on appelle son *volume* : ce volume ne peut pas n'être pas terminé par des surfaces : ces surfaces ont nécessairement entre elles un certain arrangement, un certain ordre. C'est cet ordre ou cet arrangement que prennent entre elles les surfaces qui terminent le volume des corps, qu'on appelle *figure*. Comme il n'y a point de corps qui ne soit terminé par des surfaces, que ces surfaces ne se confondent point, & qu'elles se distinguent toujours les unes des autres, au moins par des situations relatives, il est évident qu'il n'y a point de corps qui n'ait une figure quelconque. Il n'en faut pas même excepter ceux dont la petitesse est cause que leur figure échappe à nos

yeux : si nos sens étoient plus délicats, ou que nous les aidassions d'un microscope, nous distinguerions les surfaces de ces petits corps, & par conséquent leur figure. Être figuré est donc une qualité qui accompagne les corps dans tous les états : la *Figurabilité* est donc une propriété commune à tous les corps, grands ou petits.

Les surfaces qui terminent les corps, peuvent varier, & varient effectivement à l'infini, soit par leur grandeur, soit par leur nombre, soit par leur arrangement respectif. D'où il suit que les figures des corps sont aussi variables, & peut-être aussi variées entre elles, qu'il est possible de combiner ensemble la grandeur, le nombre & l'ordre des superficies. Je suis assez porté à croire qu'on ne pourroit pas trouver, dans une forêt entiere, deux feuilles qui se ressemblassent en tout.

Impénétrabilité.

11. On entend par *Impénétrabilité*, la propriété qu'ont tous les corps de ne point laisser prendre toute la place qu'ils occupent, par d'autres corps, que préalablement ces autres corps ne les aient chassés de là. Cette propriété s'appelle aussi *solidité.* C'est par elle que les corps résistent à ceux qui tendent à occuper leur place. Cette résistance est non seulement commune, mais même essentielle à tous les corps : cela est vrai, soit qu'on considere

les corps dans leur tout, soit qu'on n'ait égard qu'à leurs parties les plus simples. C'est aussi le signe le moins équivoque de leur existence. Des illusions d'optique en imposent quelquefois à nos yeux; nous sommes tentés de prendre des fantômes pour des réalités : mais, en touchant, nous nous assurons du vrai, par la résistance que nous éprouvons, & par la persuasion intime où nous sommes que tout ce qui résiste est corps, est *solide*, est *impénétrable*; & qu'on ne peut placer le doigt ou autre chose dans un lieu qui est occupé par une matiere quelconque, sans employer une force capable de la pousser ailleurs. Cette résistance, qui est l'effet de l'impénétrabilité des corps, se trouve dans tous, comme nous le prouve l'expérience journaliere. Il est vrai qu'il y a tel cas où elle échappe à nos sens ou à notre attention. Certains corps nous touchent sans cesse, nous touchent par-tout également : l'habitude nous a rendu leur contact si familier, que nous avons besoin d'y réfléchir pour reconnoître l'impression qu'ils font sur nous. Quand on agit dans un air calme, on ne fait pas attention qu'on a continuellement à vaincre la résistance d'un corps dont la solidité s'oppose à nos mouvemens. Lorsque nous agissons si peu, nous croyons ne point agir. Si donc l'on prouve que l'air, ce fluide si peu résistant, a une résistance & une solidité réelles, à plus forte raison l'accordera-t-on

aux autres corps, qui ſont plus réſiſtans que lui.

Expérience. Prenez un cylindre de métal très-fort, fermé par un bout & ouvert par l'autre, & intérieurement bien cylindrique : ce cylindre étant plein d'air, mettez-y un piſton qui y ſoit ſi bien ajuſté, qu'il ne laiſſe pas paſſer l'air entre ſes parois & celles du cylindre. Avec une certaine force, vous pourrez enfoncer le piſton juſqu'à une certaine profondeur, parce que l'air eſt un fluide compreſſible (899), & qui cede une partie de ſa place à la force qui le comprime : mais il n'y a point de force connue qui puiſſe faire enfoncer le piſton au point de le faire toucher le fond du cylindre : il reſtera toujours entre lui & ce fond, une lame d'air qui ſera d'autant plus mince, & aura d'autant plus de denſité, que la force employée aura été plus grande ; & cette lame d'air ne ſera jamais réduite à zéro. L'air oppoſe donc une réſiſtance réelle aux corps qui tendent à le déplacer ; à plus forte raiſon, les autres corps, plus réſiſtans que lui, jouiſſent-ils de cette propriété.

12. C'eſt cette réſiſtance de l'air qui eſt cauſe qu'on ne peut pas remplir de liqueur une bouteille pleine d'air, ſi le canal de l'entonnoir remplit trop exactement le goulot de la bouteille : ſi l'air ne peut pas ſortir, ſa réſiſtance empêche la liqueur d'entrer. C'eſt par la même raiſon qu'un tonneau,

percé d'un trou de vrille, ne laisse point écouler la liqueur qu'il contient : l'air qui se présente au trou, résiste à cet écoulement, à moins que le trou ne soit assez grand pour donner en même temps un passage libre aux deux fluides, qui coulent en sens contraire.

13. Il y a cependant certains corps qui paroissent se laisser pénétrer par d'autres ; mais ce n'est qu'une pénétration apparente, & point du tout réelle. Une éponge, par exemple, reçoit & retient intérieurement une grande quantité d'eau ; mais cette eau va se loger seulement dans les vides qui se trouvent entre les parties de l'éponge, & n'occupe nullement la place des parties propres de l'éponge. On en peut dire autant d'un morceau de sucre, d'une pierre tendre, &c. La pierre des carrieres de *Bouré*, près Montrichard, à neuf lieues de Tours, retient plus de 25 livres d'eau par pied cube. Mais cette eau ne va occuper que des espaces que les parties de la pierre ou du sucre laissent entre elles vides de leur propre substance, & jamais la place qu'occupent ces parties elles-mêmes. Deux chopines, l'une d'eau & l'autre d'esprit-de-vin, mêlées ensemble, ne suffisent pas pour remplir une pinte. Un vase plein d'eau admet encore beaucoup de sable ou de cendre.

EXPÉRIENCE. A un volume d'eau de cinq pouces cubes ajoutez un pareil volume de cendre, le volume

du mélange ne ſera que de ſix pouces cubes. Voilà donc 4 dixiemes du volume total abſorbés par la pénétration apparente.

14. Il faut donc diſtinguer la grandeur apparente des corps, de leur *ſolidité* réelle ; car il reſte des vides entre les parties de ces corps ; & l'*Impénétrabilité*, dont il eſt ici queſtion, n'appartient qu'aux parties ſolides des corps, qui ſe trouvent liées enſemble dans le même tout, & non pas au compoſé qui en réſulte.

Poroſité.

15. Nous venons de dire qu'entre les parties ſolides des corps, il y a des interſtices vides de leur propre ſubſtance (13) : c'eſt-là ce que l'on appelle *Pores*. Tels ſont les trous que l'on voit dans une éponge ; ce ſont autant de pores de l'éponge : tels ſont encore les petits trous que l'on voit dans une lame mince de bois, qu'on obſerve avec un microſcope.

Il n'y a point de corps dont les parties ſoient tellement rapprochées les unes des autres, qu'il ne reſte entre elles aucun interſtice vide de leur propre ſubſtance. La *Poroſité* eſt donc une propriété générale, & qui appartient à tous les corps ; mais elle n'appartient pas à tous au même degré : les uns ont une plus grande poroſité que les autres ; & cette plus grande poroſité ſe meſure par la moindre

pesanteur spécifique ; car la porosité est en raison inverse de cette pesanteur. Les pores les plus ouverts ne sont pas toujours une preuve de la plus grande porosité : le nombre compense, & même surpasse quelquefois, ce que fait la grandeur. Par exemple, les pores du bois de chêne sont beaucoup plus ouverts que ceux du liége : cependant le bois de chêne a une porosité moindre que celle du liége ; car, à volume égal, il pese plus que lui.

16. Quoique nous sachions que la porosité appartient à tous les corps, & que nous connoissions, par le poids, le rapport de la porosité d'un corps à celle d'un autre corps, nous ignorons cependant la quotité de cette porosité. Pour connoître sa valeur, il nous faudroit une matiere toute solide, une matiere qui n'eût point de pores, ou du moins une matiere dont la porosité absolue nous fût connue : alors le rapport de son poids au poids d'un autre corps, à volume égal, nous donneroit le rapport des porosités de ces deux corps, & par conséquent leurs porosités absolues. Mais nous ne connoissons point de matiere de ces especes. Le platine & l'or, qui sont de tous les corps les plus pesans, ont cependant des pores ; car le mercure & l'acide nitro-muriatique, dit *eau régale*, s'insinuent entre leurs parties & les dissolvent ; & leur porosité est même assez considérable.

Suivant

Suivant *Newton* (*Trait. d'Opt. liv.* 2, *part.* 3, *prop.* 8, *page* 313), l'or a plus de pores que de parties solides. Quelle doit donc être la porosité des autres corps? Cette porosité est en raison inverse de la densité, ou pesanteur spécifique : or la densité de l'or est à celle de l'eau à peu près comme $19\frac{1}{4}$ est à 1 ; & elle est à celle de l'air, comme environ 15627 est à 1. Mais comment concevoir une aussi grande porosité? *Newton*, dans l'endroit cité ci-dessus, *page* 315, nous en donne le moyen de la maniere suivante. » Si nous concevons, dit-il, » que ces particules (des corps) puissent être telle-» ment disposées, que les intervalles ou espaces » vides qu'il y a entre elles soient égaux en quan-» tité à toutes ces particules prises ensemble ; & » que ces particules soient composées d'autres plus » petites, qui aient entre elles des espaces vides » d'une quantité égale à celle de toutes ces plus » petites particules ; & que ces plus petites parti-» cules soient pareillement composées d'autres » beaucoup plus petites, qui toutes ensemble soient » égales à tous les pores ou espaces vides qu'il y » a entre elles ; & ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on » vienne à des particules solides, qui n'aient nuls » pores ou espaces vides ; & que dans un certain » corps il y ait, par exemple, trois pareils degrés » de particules, les moindres desquelles soient » solides, ce corps aura sept fois autant de pores

» que de parties ſolides. Mais s'il y a quatre pareils » degrés de particules, dont les moindres ſoient » ſolides, le corps aura quinze fois autant de pores » que de parties ſolides. S'il y en a cinq degrés, » le corps aura trente-une fois autant de pores » que de parties ſolides. S'il y en a ſix degrés, le » corps aura ſoixante-trois fois autant de pores » que de parties ſolides; & ainſi de ſuite conti- » nuellement «.

On voit que de cette maniere on pourroit arriver à une poroſité exceſſive.

17. Il n'y a point de corps viſible, ſoit à la vue ſimple, ſoit par le moyen des microſcopes, dans leſquels on n'apperçoive pas de pores. Certains fluides s'inſinuent entre les parties de certains corps (13) : il faut bien, pour cela, qu'il y ait des pores; car la matiere eſt impénétrable (11). Les bois, ſur-tout les *tendres*, perdent ou acquierent de l'humidité, s'ils ſe trouvent dans des endroits plus ou moins ſecs qu'ils ne le ſont eux-mêmes. C'eſt pourquoi il arrive ſouvent que les ouvrages de menuiſerie ſe déjettent : une fenêtre qui ſe ferme aiſément dans un temps, ſe trouve trop large dans un autre, & peut à peine rentrer en place : un tonneau entr'ouvert ſe raccommode en reſtant dans l'eau, &c. Tous ces effets ne ſont autre choſe que des dimenſions diminuées par la ſécherеſſe, ou augmentées par l'humidité qui

s'insinue entre les parties des bois. On peut prévenir une grande partie de ces inconvéniens, en enduisant, de part & d'autre, les bois de menuiserie de peinture à l'huile ou de vernis : en bouchant ainsi les pores du bois avec une matiere qui n'est point pénétrable à l'eau, on empêche l'humidité d'y entrer, & même d'en sortir ; & par ce moyen, on leur conserve plus long-temps un état constant.

18. Notre transpiration prouve évidemment la porosité de notre peau : celle que l'on appelle *insensible*, & qui en effet ne s'apperçoit que par ses effets, est continuelle : aussi, selon *Santorius* & *Dodart*, perdons-nous, par elle, les cinq huitiemes de ce que nous prenons en nourriture.

19. La coquille des œufs est poreuse : c'est par ses pores que l'œuf, si-tôt après avoir été pondu, commence à se vider, & cesse d'être ce qu'on appelle *frais*. Si l'on veut l'empêcher de rien perdre, il n'y a qu'à boucher ses pores avec une matiere grasse ; de l'huile d'olives suffit pour cela. Il faut, après l'en avoir enduit par-tout avec le bout du doigt, le bien essuyer avec une serviette, afin qu'il n'en reste qu'une couche très-mince, de peur que la pression de l'air n'en fasse entrer dans l'œuf quelques gouttelettes, qui, en devenant rances, lui donneroient un mauvais goût. Pour les conserver bien frais, il faut les graisser ainsi aussi-tôt qu'ils

ſont pondus, ou du moins dans le jour même. J'en ai mangé d'ainſi préparés, qui avoient plus d'un an de date, & qui ſe ſont trouvés auſſi frais & auſſi délicats que ceux qui étoient pondus du jour. Pour les garder auſſi long-temps, il faut qu'ils n'aient pas été fécondés : car, s'ils l'ont été, ils ne peuvent ſe conſerver que ſix ſemaines ou deux mois.

20. La lumiere eſt une matiere (1174); & l'on ſait qu'elle s'inſinue & pénetre avec la plus grande facilité au travers de tous les corps tranſparens : il faut donc que ces corps aient, dans tous les ſens, une grande quantité de pores.

21. Certains corps admettent dans leurs pores certains fluides, tandis que d'autres ne peuvent pas s'y inſinuer : & le même fluide pénetre dans les pores d'un corps, tandis qu'il ne peut pas pénétrer dans ceux d'un autre. Par exemple, le marbre admet dans ſes pores l'eſprit-de-vin & les huiles, & non pas l'eau : les gommes ſe laiſſent pénétrer par l'eau, & non pas par l'eſprit-de-vin: les réſines, par l'eſprit-de-vin ou les huiles, & non pas par l'eau. L'acide nitreux s'inſinue dans les pores de l'argent & le diſſout, & n'altere pas l'or : l'acide nitro-muriatique ou *eau régale* s'inſinue dans les pores de l'or & le diſſout, & n'altere pas l'argent. L'acide nitreux diſſout le cuivre, le fer, &c. ; & ne peut pas entamer un morceau de

beurre. D'où cela vient-il? Cela ne peut pas venir ſeulement de ce que les pores d'une ſubſtance ſont plus ouverts, & ceux d'une autre le ſont moins. Car ſuppoſons que les pores des gommes ſoient plus ouverts que ceux des réſines, & que les particules de l'eau ſoient plus groſſieres que celles de l'eſprit-de-vin; cela expliqueroit bien pourquoi l'eau ne diſſout pas les réſines, tandis qu'elle diſſout les gommes: ſes parties, trop groſſieres, ne pourroient pas s'inſinuer dans les pores trop peu ouverts des réſines. Mais pourquoi les particules de l'eſprit-de-vin, plus déliées que celles de l'eau, ne s'inſinueroient-elles pas dans les pores des gommes, plus ouverts que ceux des réſines, dans leſquels elles pénetrent ſi aiſément? La ſeule raiſon de la grandeur des pores du corps à diſſoudre, & de la petiteſſe des particules du diſſolvant, ne ſuffit donc pas pour expliquer ces faits, quoique probablement elle y contribue pour quelque choſe: il faut y joindre une autre cauſe. Cela vient ſans doute de ce que la figure des pores du corps à diſſoudre, doit être appropriée à la figure des particules du diſſolvant. Et il eſt certain que les pores ſont de différentes figures dans différens corps.

Raréfactibilité.

22. La *Raréfactibilité* eſt la propriété qu'ont les corps d'acquérir une augmentation de volume par

l'action de la chaleur. Cette action, par laquelle ils augmentent de volume, est ce qu'on appelle *Raréfaction*. Tous les corps (& l'on n'en doit excepter aucun) augmentent de volume, ou se raréfient toutes les fois qu'ils s'échauffent. La *Raréfactibilité* est donc une propriété générale & qui appartient à tous les corps.

La vraie cause de cette raréfaction est l'introduction d'une quantité plus ou moins grande de la matiere de la chaleur dans les pores des corps, qui, par son abondance & son action, pénetre les corps, en écarte les parties, & augmente ainsi leur volume, en leur faisant occuper un espace plus grand que celui qu'ils occupoient auparavant. Tous les corps, soit solides, soit fluides, soit liquides, sont susceptibles de cette raréfaction : aussi a-t-elle lieu dans tous, toutes les fois qu'ils s'échauffent, à moins que quelque cause plus forte ne s'oppose à cet effet. Nous verrons les preuves de ceci, en parlant de l'action du feu sur les corps (1134 & *suiv.*).

Condensabilité.

23. La *Condensabilité* est la propriété qu'ont les corps de diminuer de volume par le refroidissement ; ce qui ne manque jamais de leur arriver toutes les fois qu'ils perdent une portion de la matiere de la chaleur qui s'étoit introduite dans

leurs pores. Il eſt aiſé de voir que cette propriété eſt préciſément le contraire de la propriété précédente, de la raréfactibilité (22).

Toutes les fois qu'un corps paſſe d'un lieu plus chaud dans un lieu moins chaud, ou qu'il eſt entouré d'un air moins chaud que celui qui l'environnoit auparavant, ou qu'enfin il ſe trouve voiſin de corps moins chauds que lui, il communique à ces corps voiſins une portion de la matiere de la chaleur qui le pénétroit & qui tenoit ſes parties écartées; car la matiere de la chaleur eſt un fluide (588, 1101); & le propre des fluides eſt de ſe répandre uniformément par-tout, tant qu'il n'y a pas de cauſes qui s'y oppoſent. Les parties de ce corps, alors moins ſoutenues, retombent, ſe rapprochent les unes des autres, & ſe renferment dans des limites plus étroites : en un mot, ce corps devient plus petit qu'il ne l'étoit. C'eſt-là ce qu'on appelle *Condenſation*. Mais, comme il n'y a point de corps qui, en diminuant de chaleur, ne ſoit ſuſceptible de cette eſpece de rétréciſſement, on doit conclure que la *Condenſabilité* eſt une propriété générale des corps, qu'elle appartient à tous indiſtinctement & ſans aucune exception. Qu'on n'objecte pas à cela que l'eau, qui ſe gele, en ſe refroidiſſant, augmente cependant de volume (1076) : car cette augmentation eſt due à une cauſe étrangere, dont nous parlerons

en traitant de la glace ; & l'on verra alors que l'eau gelée est réellement de l'eau condensée.

Nous parlerons plus amplement de la condensation des corps, en traitant du feu & de la chaleur qui les raréfie.

Compressibilité.

24. De tout ce que nous avons dit de la porosité, il suit que la grandeur apparente d'un corps excede toujours la quantité réelle de sa matiere propre ; car les parties de ce corps ne sont pas aussi rapprochées les unes des autres qu'elles pourroient l'être, puisqu'il reste entre elles des vides de leur propre substance (15). La quantité de matiere qui compose le corps est ce qu'on appelle sa *masse* ; & l'espace qu'il occupe se nomme son *volume* (10). Cet excès du volume sur la masse varie, non seulement dans les différens corps, mais aussi dans le même corps (22 & 23). C'est ce rapport du volume à la masse qu'on nomme *densité* : un corps est plus *dense* qu'un autre, quand la quantité réelle de sa matiere differe moins de sa grandeur apparente ; ou, ce qui est la même chose, quand, sous un volume donné, il contient plus de parties solides. Le plomb est plus dense que le cuivre ; l'or l'est plus que l'argent, &c.

Comme nous ne connoissons point de corps parfaitement durs, & que tou ont des pores, il

eſt évident qu'une force extérieure, ſuffiſante pour vaincre la roideur des parties, pourra rapprocher ces parties les unes des autres, diminuer le volume de ce corps ſans diminuer ſa maſſe, & par conſéquent augmenter ſa denſité. C'eſt ce rapprochement de parties par une force extérieure, que l'on appelle *compreſſion*.

25. Nous mettons la *Compreſſibilité* au nombre des propriétés générales, & qui appartiennent à tous les corps; mais elle n'appartient pas à tous au même degré : les uns ſont très-compreſſibles, d'autres le ſont fort peu. Tous les corps que nous appelons *ſolides*, c'eſt-à-dire, ceux dont les parties adherent aſſez fortement les unes aux autres, pour n'avoir point entre elles cette mobilité reſpective qui ſe trouve entre les parties des fluides & des liquides; tous ces corps, dis-je, donnent des marques très-ſenſibles de compreſſion. Si l'on donne un fort coup de marteau ſur une maſſe d'or, ou d'argent, ou d'étain, ou de plomb, le choc du marteau y laiſſe une impreſſion très-apparente, & qui prouve évidemment que les parties ont été comprimées dans l'endroit du choc. Si l'on laiſſe tomber d'une certaine hauteur une boule de marbre, ou d'ivoire, ou d'acier, ou même un diamant (qui eſt le plus dur de tous les corps), ſur un autre corps dur, tous ces corps rejailliſſent à l'inſtant, ſe réfléchiſſent : or nous ferons voir

ci-après (31), que le mouvement de réflexion est une preuve certaine de la compressibilité des corps; car ces corps ne peuvent pas se réfléchir, si aucun d'eux n'est élastique ; & l'élasticité ne pourroit pas exister dans un corps non compressible (32).

26. Il y a d'autres corps qui sont beaucoup plus compressibles que ceux dont nous venons de parler, qui diminuent considérablement de volume par une pression qui n'est même pas très-forte : tels sont les fluides élastiques, comme l'air & les gas ; & c'est par cette propriété qu'ils sont capables de produire des effets très-singuliers, dont nous parlerons en traitant de l'*air* (886 *& suiv.*).

27. Il existe aussi une autre sorte de substances qui ne paroissent donner aucun signe de compressibilité ; c'est-à-dire que, quelque force qu'on ait employée contre elles, elles n'ont jamais paru céder à la pression qu'on leur a fait éprouver ; on n'a jamais pu appercevoir la moindre diminution dans leur volume. Telles sont toutes les liqueurs. Messieurs de l'*Académie del Cimento* ont fait, pour s'en assurer, une expérience très-ingénieuse, mais qui malheureusement n'est pas assez concluante. Voici en quoi elle consiste.

Il est mathématiquement démontré qu'une capacité sphérique est plus grande que toute autre capacité qui auroit une surface égale à la sienne. Il suit de là qu'un vaisseau qui a une figure

ſphérique, & qui eſt plein d'une liqueur quelconque, ne peut pas perdre cette figure, qu'il n'arrive l'une de ces deux choſes : ou que ce vaiſſeau augmente de ſurface, pour conſerver la même capacité, ou que la liqueur qu'il contient diminue de volume.

Expérience. Meſſieurs de l'Académie del Cimento ont donc pris une boule d'or très-mince & bien ſphérique ; ils l'ont remplie d'eau entiérement, & l'ont exactement bouchée : après quoi, au moyen d'une preſſe, ils l'ont un peu applatie ; ils en ont fait diſparoître deux petits ſegmens. Après ce changement de figure, la boule s'eſt trouvée avoir la même capacité qu'auparavant : preuve certaine que la boule eſt augmentée de ſurface. Cette expérience ſembleroit prouver que l'eau eſt abſolument incompreſſible : cependant on peut dire à cela qu'il eſt poſſible que l'eau ait été comprimée dans le premier inſtant, & qu'en ſe rétabliſſant par la force de ſon reſſort, elle ait occaſionné l'extenſion du métal : voilà pourquoi j'ai dit que cette expérience n'étoit pas concluante. Si l'on continue de preſſer la boule, l'eau, au lieu de céder à cette preſſion, ſe fait jour à travers des pores du métal, & paroît ſur la ſurface en petites gouttes ſemblables à celles de la roſée : ce qui prouve que les liqueurs ſont capables de réſiſter à une très-forte preſſion.

EXPÉRIENCE. Voilà une autre expérience qui eſt pour le moins auſſi concluante que la précédente; car il n'y a aucun inſtant où l'on puiſſe appercevoir la moindre diminution du volume. On prend un tuyau de verre ABCD (*fig.* 1.) aſſez épais, long d'environ 7 pieds, recourbé en forme de ſiphon en BC, ſcellé hermétiquement en D, & ouvert en A. On met du mercure dans la courbure BC; on fait enſuite paſſer de l'eau dans la partie CD, & l'on marque exactement, avec une ſoie fine, l'endroit C, où ſe joignent le mercure & l'eau : cela fait, on remplit le tuyau de mercure de B en A. Alors l'eau qui eſt en CD ſe trouve preſſée par le poids de la colonne AB de mercure, lequel eſt égal à environ trois fois le poids de l'atmoſphere, comme nous le prouverons (301) en traitant de l'hydroſtatique. Malgré cette grande preſſion, la colonne d'eau CD ne diminue point de longueur : pour peu qu'elle en diminuât, le mercure monteroit au deſſus de la ſoie qui eſt en C; & jamais on ne l'y voit monter, même de l'épaiſſeur d'un cheveu.

Fig. 1.

28. Quoique ces expériences paroiſſent prouver l'incompreſſibilité des liqueurs, il ne faut cependant pas les regarder comme abſolument incompreſſibles : 1°. parce que, comme nous l'avons prouvé ci-deſſus (24), tous les corps ſolides ſont compreſſibles par la raiſon qu'ils ont des pores,

ce qui permet à leurs parties de se rapprocher; de même les liqueurs, n'étant autre chose que des assemblages de petits corps solides & poreux, doivent aussi être compressibles, avec cette différence qu'elles le sont beaucoup moins, parce que la compressibilité doit diminuer comme la grandeur des corps, & que les particules des liqueuts sont prodigieusement petites : 2°. parce que les liqueurs donnent d'ailleurs des preuves de compressibilité, puisqu'elles sont capables de transmettre les sons, comme nous le prouverons (1005) en traitant des sons : or cela ne pourroit pas être, si elles n'avoient pas d'élasticité, laquelle suppose toujours la compressibilité (31, 32).

29. De tout ceci nous devons conclure que les liqueurs, quoique compressibles en elles-mêmes, sont cependant capables de résister aux efforts qu'on a employés jusqu'ici contre elles; qu'il est probable qu'elles céderoient enfin d'une maniere sensible, s'il étoit possible de les soumettre à de plus fortes pressions, & qu'elles cedent même peut-être déjà à celles qu'on emploie, mais d'une quantité trop petite pour être apperçue.

30. Il est très-avantageux pour nous que les liqueurs puissent résister à des pressions qui compriment fortement les autres corps : toutes celles que nous tirons par expression des végétaux, tels que le vin, le cidre, les huiles, &c. ne se sépareroient

point des parties solides qui les contiennent, si ces liqueurs étoient aussi compressibles qu'elles. La facilité que nous avons à extraire les sucs que la Nature y a préparés pour nos usages, est presque toute fondée sur la résistance que les liqueurs opposent aux forces qui tendent à les comprimer.

Élasticité.

31. L'*Élasticité* est l'effort par lequel les corps qui ont été comprimés, tendent à reprendre l'état qu'ils avoient avant la compression; tendent, en un mot, à se rétablir dans leur premier état. Un corps qui a de l'élasticité, est donc celui qui, après avoir été comprimé par une force quelconque, reprend, lorsque cette force cesse d'agir, les mêmes dimensions & la même figure qu'il avoit avant d'être comprimé. Tel est un arc que l'on bande en raccourcissant sa corde, & qui, si l'on vient à couper la corde ou à la lâcher, reprend sa premiere situation. Telle est encore une bille d'ivoire ou d'acier, que l'on laisse tomber sur un plan de marbre; par sa chute & son choc contre le marbre, elle éprouve une compression qui porte une portion plus ou moins grande de cette petite sphere vers son centre, & lui fait perdre sa forme ronde : l'instant après, il ne reste sur la bille aucune marque de cette compression; elle a repris sa

forme ronde par son élasticité; & c'est ce qui cause le mouvement réfléchi qu'elle éprouve en pareil cas (128).

32. Ce que nous venons de dire, prouve que l'élasticité suppose nécessairement dans les corps qui en jouissent, de la compressibilité. Un corps qui ne seroit point compressible, ne pourroit être élastique; car ne pouvant pas changer de figure, il ne seroit pas dans le cas de la reprendre. De même que nous avons fait voir ci-dessus (25, 26, 27, 28), que tous les corps sont compressibles, les uns plus, les autres moins; de même aussi il est aisé de concevoir que tous sont élastiques, mais à des degrés différens.

33. L'élasticité consiste donc en ce qu'un corps se rétablisse après avoir été comprimé, lorsque la force comprimante cesse d'agir. Pour que cette élasticité soit parfaite, il faut que le corps se rétablisse, 1°. complétement; 2°. avec autant de prestesse que celle avec laquelle il a été comprimé; c'est-à-dire qu'il faut que le corps revienne précisément au même état qu'il avoit auparavant, & qu'il reprenne cet état en un temps aussi court que celui qu'il a fallu pour le lui faire perdre. Si nous en exceptons la matiere de la lumiere & les fluides aëriformes, nous ne connoissons point de corps qui jouissent de cette perfection d'élasticité. Aucun ne se rétablit complétement; & tous employent,

à reprendre leur état, plus de temps qu'ils n'en ont mis à le perdre; & parmi ceux-ci, tous ne sont pas élastiques au même degré; dans les uns, cette force élastique est aisée à appercevoir; les effets en sont sensibles, & chacun réagit plus ou moins, selon la dureté, la roideur ou la disposition de ses parties internes. Non seulement cette qualité n'est pas parfaite, comme nous venons de le dire, mais on remarque presque toujours qu'elle se perd, ou du moins s'affoiblit par un long usage, ou par une compression d'une trop longue durée. Un arc qui a été trop long-temps ou trop souvent tendu, garde enfin une portion de la courbure qu'on lui a fait prendre. Le crin, la laine ou la plume, ces substances élastiques dont nous garnissons nos meubles, perdent par succession de temps presque tout leur ressort; & ce n'est qu'en les remuant beaucoup ou les cardant de nouveau, que nous faisons revivre en elles cette élasticité qui nous est si précieuse, & qui nous fournit tant de commodités. Il y a d'autres corps qui ne se rétablissent presque point, dans lesquels les effets de l'élasticité sont presque insensibles. Dans ces corps, quoiqu'ils aient réellement un peu d'élasticité, on est dans l'usage de la regarder comme nulle; & on appelle ces sortes de corps, *corps mous*, *corps non-élastiques*, *corps sans ressort*, ce qui veut dire seulement, corps privés d'un ressort assez actif pour

pour être compté pour quelque chose. Telle est, par exemple, la terre molle.

L'élasticité doit donc être regardée comme une propriété générale des corps, comme une propriété qui appartient à tous indistinctement, quoiqu'à un degré plus ou moins élevé; car il n'y en a aucun, quelque mou qu'il soit, dans lequel, si l'on observe attentivement, on ne remarque au moins une petite portion de cette force. Nous n'en exceptons pas même les liqueurs; car elles sont capables de transmettre les sons (1005) : or il n'y a que des corps élastiques qui puissent le faire.

34. Nous avons dit que les corps, en vertu de leur élasticité, reprennent l'état qu'ils avoient avant la compression; mais ce n'est qu'après un plus ou moins grand nombre de balancemens, appelés *vibrations*, que cet état est entiérement repris; & ces vibrations sont de telle nature, qu'elles sont toujours isochrones ou de même durée, soit qu'elles soient grandes, soit qu'elles soient petites, soit qu'elles aient une grande ou une petite amplitude. De plus, dans chacune de ces vibrations, la vîtesse du ressort s'accélere depuis le point de tension jusqu'au lieu de son repos, & retarde ensuite dans la même proportion en s'en éloignant : de sorte que le point où le ressort frappe le plus fort, est le lieu de son repos; car c'est à ce point-là où il a la plus grande vîtesse acquise.

35. S'il y a des corps qui perdent quelquefois leur élasticité, il y en a aussi dans lesquels on peut l'augmenter par différens moyens employés dans les Arts. Les corps sonores devant avoir un ressort très-actif, on augmente l'élasticité des métaux dont on fait les cloches, les timbres, &c. en les mêlant & les faisant fondre avec d'autres métaux ou demi-métaux; ce que l'on appelle *alliage*; parce qu'on a remarqué qu'un pareil mélange est plus dur, plus roide & plus élastique que les métaux simples dont il est composé.

36. La plupart des métaux, même sans être alliés, acquierent une plus grande élasticité, prennent un ressort plus actif, lorsqu'on les bat à froid; ce que les Ouvriers appellent *écrouir*. On augmente donc l'élasticité des métaux par l'*écroui*.

EXPÉRIENCE. Si vous voulez en avoir la preuve, prenez, dans la même planche de cuivre, deux lames de ce métal, de mêmes dimensions; battez l'une des deux à froid sur un enclumeau. Ensuite essayez de les courber: si-tôt que vous les lâcherez, celle des deux qui aura été écrouie, reprendra son premier état, à très-peu de chose près; & l'autre gardera presque en entier la courbure que vous lui aurez donnée.

37. Mais de tous les corps dont on augmente artificiellement l'élasticité, il n'en est point sur lequel on produise un plus grand effet que sur

l'acier : & parmi les différens procédés qu'on emploie pour cela sur ce métal, il n'en est point de plus efficace que la *trempe*, qui consiste à chauffer fortement l'acier, & à le refroidir subitement, en le plongeant dans une liqueur froide. L'acier prend par-là une dureté & une élasticité d'autant plus grandes, qu'on le chauffe davantage, & que la liqueur dans laquelle on le plonge, est plus froide. Mais si la trempe a produit un plus grand effet que celui dont on a besoin, on peut le modérer, & diminuer cette élasticité par le *recuit*, qui consiste à chauffer modérément l'acier, & à le laisser ensuite refroidir lentement à l'air.

Il faut savoir que l'acier n'est point un métal particulier ; c'est un fer préparé par la cémentation. Chaque Ouvrier a son cément particulier, dont il fait souvent un secret ; mais dans tous il entre des matieres charbonneuses. Ci-devant la plupart des Chimistes regardoient l'acier comme un fer plus pur que celui dont il avoit été formé ; ils étoient dans l'erreur. Il est bien prouvé aujourd'hui que l'acier est un fer combiné avec le carbone ou principe charbonneux, qui s'est uni au fer pendant la cémentation, & qui y est intimement mêlé. Aussi à la cassure du fer pur, on voit qu'il est composé de lames ; & la cassure de l'acier montre de petits grains, qui sont le produit du

mélange du fer extrêmement divifé & du carbone. Lorfqu'on chauffe l'acier, l'action du feu (dont la propriété bien connue eft de procurer l'union des matieres homogenes) fait fortir de l'intérieur de fes molécules une grande partie du principe charbonneux qui s'y trouve difféminé, fans pour cela le faire fortir de la maffe totale. La trempe faifit donc l'acier dans un moment où fes principes, quoique les mêmes, font moins mêlés; ce qui fait que les molécules font compofées de parties plus homogenes; & qu'en même temps ces molécules font moins liées enfemble. Ceci rend affez bien raifon des différens phénomenes de la trempe.

1°. Le grain de l'acier paroît plus gros après la trempe qu'auparavant; parce que chaque molécule s'eft formée d'un plus grand nombre de particules métalliques réunies.

2°. L'acier a un plus grand volume après la trempe; car alors fa pefanteur fpécifique eft moindre. Cela vient de ce que la trempe fixe l'acier dans un état où le mélange de fes principes eft moins complet.

3°. L'acier eft plus dur après la trempe; parce que chacune de fes molécules étant plus groffe, touche fes voifines par de plus grandes furfaces; il eft donc plus difficile de l'en détacher; & de plus, les parties qui compofent chaque molécule

étant plus homogenes, s'uniſſent plus aiſément & adherent plus fortement entre elles ; il eſt donc plus difficile d'entamer cette molécule.

4°. L'acier, quoique plus dur après la trempe, eſt cependant plus caſſant ; parce que la liaiſon des molécules entre elles & la ſomme des attouchemens ſont moindres.

5°. Le recuit rend l'acier moins caſſant ; parce qu'un refroidiſſement lent donne aux parties le temps de ſe mêler de nouveau, & augmente par-là la ſomme des attouchemens. Ce ſont ſans doute ces attouchemens immédiats qui ſont la cauſe de l'adhérence des particules entre elles, & en conſéquence de la dureté des corps.

38. Quoique nous ayons des procédés certains pour augmenter ou diminuer la force du reſſort de pluſieurs corps (35, 36, 37), nous n'en connoiſſons pas mieux en général la cauſe de l'élaſticité. Tout ce qu'on a imaginé juſqu'à préſent pour en rendre raiſon, n'eſt que conjectures mal fondées, & ſouvent démenties par l'expérience.

On a d'abord prétendu que c'étoit de l'air que dépendoit l'élaſticité des corps. On croyoit que l'air, s'inſinuant par les pores entre les parties des reſſorts tendus, les pouſſoit de maniere à leur faire reprendre leur premiere ſituation, & qu'ainſi il rendoit ces corps élaſtiques. Mais cela eſt démenti

par l'expérience ; puisque l'élasticité a lieu dans le vide de Boyle, comme en plein air.

On a donc eu recours à un autre fluide, beaucoup plus subtil que l'air grossier, & on l'a supposé lui-même élastique. En conséquence, voici comment on a raisonné. Quand on courbe un ressort, les pores de la partie qui devient convexe, s'élargissent, & ceux du côté qui devient concave, se rétrécissent : les petites particules de ce fluide élastique, qui se trouvent dans ces derniers pores, sont comme autant de petits ballons comprimés, qui, par leur élasticité, tendent à se rétablir, & redressent ainsi le ressort. Mais on suppose ici ce qui est en question ; car il s'agit de l'élasticité des corps en général ; & il restera toujours à savoir quelle est la cause de l'élasticité de ce fluide. Seroit-ce encore un fluide plus subtil, qui seroit aussi élastique ? Nous demanderons quelle est la cause de l'élasticité de ce dernier ; & ainsi à l'infini.

Dire que les corps élastiques sont tels, parce qu'ils sont composés de petites parties, dont chacune est douée d'une force élastique ; c'est un cercle vicieux bien ridicule.

Enfin d'autres Physiciens attribuent l'élasticité à la force répulsive qu'ont entre elles les particules des corps. Quand on comprime, disent-ils, un corps élastique, ses pores se rétrécissent ; de sorte qu'alors plusieurs particules, qui étoient auparavant

à quelque distance l'une de l'autre, se rapprochent de la sphere de leur répulsion réciproque; & cette répulsion devient d'autant plus forte que la compression augmente, c'est-à-dire que les parties se rapprochent davantage les unes des autres. C'est pourquoi, disent-ils, l'élasticité des métaux augmente quand on les écrouit : plus on les bat à froid, plus ils deviennent élastiques. De là vient encore, ajoutent-ils, que quand les pores d'un corps sont fort grands, ce corps peut souffrir compression sans recevoir beaucoup d'élasticité. N'est-ce pas encore là une supposition sans fondement? Cette force répulsive n'est-elle pas diamétralement opposée à la force attractive? On prétend que les particules des corps s'attirent d'autant plus puissamment, qu'elles se touchent de plus près; & ici l'on dit qu'elles se repoussent d'autant plus vivement, qu'elles sont plus rapprochées les unes des autres. N'est-ce pas supposer des attractions & des répulsions selon le besoin qu'on en a, & tout-à-fait gratuitement? Plutôt que de faire d'aussi mauvais raisonnemens, il vaut bien mieux avouer ingénument que nous ignorons quelle est la cause de l'élasticité des corps.

Dilatabilité.

39. La *Dilatabilité* est la propriété qu'ont les corps d'acquérir une augmentation de volume,

d'occuper un plus grand eſpace, par la force de leur reſſort, ſi-tôt qu'il ceſſe d'être retenu par des obſtacles. La plupart des Phyſiciens confondent la dilatation avec la raréfaction ; mais je penſe qu'il eſt à propos de les diſtinguer. Il eſt bien vrai que dans l'un & l'autre cas, les corps augmentent de volume ; mais la raréfaction eſt occaſionnée par la chaleur (22), & la dilatation l'eſt par la force élaſtique. Or il ne faut pas regarder comme le même, deux effets qui, quoique ſemblables en apparence, ſont cependant produits par deux cauſes ſi différentes.

Tout corps élaſtique (& nous venons de faire voir (33) qu'il n'y en a aucun qui ne le ſoit, peu ou beaucoup) qui eſt dans un état de contraction, ſi-tôt que la puiſſance qui le retient, ceſſe d'agir, ou qu'elle agit moins fortement, s'étend, augmente de volume, en un mot, ſe *dilate*. L'air ſur-tout, ainſi que tous les fluides aériformes, a cette propriété dans un degré éminent ; de ſorte que la plus petite portion d'air renfermée dans un vaſe, le remplit toujours, quelque grand qu'il ſoit ; & ſi on le tient comprimé, il fait toujours, pour ſe dilater, un effort égal à la force qui le comprime (911). C'eſt pourquoi les corps, en ſe dilatant par l'effet de leur reſſort, ont beaucoup plus de force au commencement qu'à la fin de leur dilatation ; parce que dans ce premier inſtant ils

ſont beaucoup plus comprimés : & plus la compreſſion eſt grande, plus la force élaſtique & l'effort pour ſe dilater ſont conſidérables ; en ſorte que ces deux choſes, ſavoir, la force comprimante & la force élaſtique, ſont toujours égales.

Mobilité.

40. La *Mobilité* eſt la faculté qu'ont tous les corps de pouvoir être mis en mouvement. Il n'y a point de corps qui ne puiſſe être mis en mouvement par une force ſuffiſante : la mobilité eſt donc une propriété générale des corps, & qui appartient à tous indiſtinctement; mais elle n'appartient pas à tous au même degré. Elle eſt fondée ſur certaines diſpoſitions, qui ne ſe trouvent pas également dans tous les corps ; c'eſt ce qui fait que les uns ſont plus mobiles que les autres; c'eſt-à-dire qu'il faut employer moins de force pour les faire paſſer de l'état de repos à celui de mouvement. Les principales de ces diſpoſitions ſont la figure du corps, le poli de ſa ſurface, & ſa maſſe ou la quantité de matiere contenue ſous ſon volume.

Suppoſons deux corps de même ſubſtance, dont les maſſes ou les poids ſoient égaux, les ſurfaces également bien polies, & poſés tous deux ſur le même plan ; mais que l'un des deux ait une forme ronde, & l'autre une figure cubique. L'expérience

fait voir que la même impulsion porte le premier plus loin que le second, & que ce premier conserve ce mouvement plus long-temps que ne le fait l'autre. Puisque ces deux corps ne different qu'en figure, donc la figure contribue à la mobilité.

Supposons encore deux corps de même substance, de masses égales & de même figure, posés encore tous deux sur le même plan; mais imaginons que la surface de l'un est raboteuse, & que celle de l'autre est bien polie. Cette différence, qui est la seule qui soit entre ces deux corps, suffit pour que la même impulsion porte le dernier plus loin que le premier. Le poli de la surface contribue donc à la mobilité.

Supposons en troisieme lieu deux corps parfaitement semblables par leur volume, par leur figure & par le poli de leur surface, mais différens par leur masse; par exemple, deux boules de même diametre, l'une de bois, & l'autre de plomb. Il est évident que la même impulsion n'enverra pas si loin la dernière que la première. Le moins de masse dans l'une des deux la rend donc plus propre à être mise en mouvement; le plus ou le moins de masse contribue donc à la mobilité: un corps qui a moins de masse qu'un autre, oppose donc une moindre résistance à l'effort qui tend à le faire changer d'état.

Inertie.

41. L'*Inertie* des corps eſt la réſiſtance dont nous venons de parler ; c'eſt la force par laquelle tout corps réſiſte à toute variation d'état ; c'eſt-à-dire, par laquelle, lorſqu'il eſt en repos, il réſiſte au mouvement ; lorſqu'il eſt en mouvement, il réſiſte au repos, ou à un mouvement plus prompt ou plus lent. L'inertie eſt donc une force qui réſide dans tous les corps, qui y eſt inhérente, en quelque état qu'ils ſe trouvent. Mais elle n'eſt pas dans tous au même degré ; car, ainſi que la peſanteur, elle eſt toujours proportionnelle à la maſſe ou à la quantité de matiere propre de chaque corps ; c'eſt-à-dire qu'un corps qui a une maſſe double ou triple de celle d'un autre corps, a une force d'inertie double ou triple de celle de l'autre corps ; & par cette force, réſiſte doublement ou triplement à l'effort qui tend à la vaincre.

42. Il y a des Auteurs qui ont confondu la force d'inertie avec la peſanteur ; cependant, quoique ces deux forces aient de commun d'être proportionnelles à la maſſe ou à la quantité de matiere propre de chaque corps, elles ſont pourtant eſſentiellement diſtinctes l'une de l'autre. La peſanteur n'exerce ſon action que dans un ſens, de haut en bas : toutes les fois qu'un corps tombe librement, il tombe perpendiculairement à l'horizon. Mais la

force d'inertie résiste dans quelque sens qu'on fasse effort pour changer l'état d'un corps.

43. Tout corps, considéré précisément comme corps, est essentiellement indifférent au repos ou au mouvement, à un mouvement plus prompt ou plus lent. L'effet nécessaire de cette indifférence est de faire persévérer le corps dans l'état où il se trouve. En effet, si un corps est en repos, il ne se met point en mouvement, s'il n'y a une force positive qui l'y oblige. S'il est en mouvement, il n'est point réduit au repos sans un obstacle qui l'arrête; il ne se meut point plus promptement ou plus lentement, sans une cause qui ajoute ou qui retranche au mouvement qu'il a déjà. Il y a donc une force résidente dans les corps, par laquelle ils tendent à persévérer dans l'état où ils sont: c'est cette force qu'on appelle *force d'inertie*; & c'est par elle qu'ils résistent à tout changement d'état.

Fig. 2. Supposons un corps A (*fig.* 2) d'une grandeur & d'un poids déterminés; par exemple, une boule de plomb pesant une livre, suspendue librement dans un air tranquille, par un fil fort long CA; & une autre boule de plomb B, de même poids, pareillement suspendue par un fil CB. L'expérience prouve, comme nous le ferons voir en parlant du mouvement d'oscillation (258), que si l'un de ces corps, A, par exemple, est

élevé à 4 degrés de la ligne verticale CB, & qu'on l'abandonne à lui-même, s'il ne rencontre en chemin aucun obstacle, lorsqu'il sera parvenu au point le plus bas B, il aura acquis, par sa chûte, une vîtesse qui le portera à 4 degrés du côté opposé. Mais si le corps A rencontre au point le plus bas le corps B, qui l'égale en masse, & qu'il le heurte, l'expérience prouve encore que ces deux corps ne remontent ensemble qu'à 2 degrés. Le corps B reçoit une portion du mouvement du corps A; & ce dernier perd par le choc ce que l'autre paroît avoir acquis. Le corps B oppose donc une résistance au corps A; car sans elle ce dernier seroit remonté à 4 degrés. Un corps en repos fait donc une résistance réelle à l'effort qui tend à le mouvoir. De plus, si le corps B, au lieu de ne peser qu'une livre, en pesoit 8 ou 10, il seroit moins déplacé par le choc du corps A, & cela proportionnellement à l'augmentation de sa masse; donc un corps en repos oppose à l'effort qui tend à le mouvoir, une résistance proportionnelle à sa masse. C'est cette résistance qu'on appelle *force d'inertie*.

44. On fait à ce raisonnement des objections auxquelles il faut répondre. On prétend que c'est la résistance de l'air qui est la cause de celle du corps B. Le corps B, dit-on, en repos, ne résiste à l'effort du corps A, que parce qu'il est appuyé

par l'air qui l'environne, & qu'il faut déplacer. On peut répondre à cela, 1°. que les corps qui sont ainsi choqués dans le vide d'air, résistent de même que dans l'air, ou, s'il y a des différences, elles ne sont pas sensibles : ce n'est donc pas de l'air que vient cette résistance; 2°. que la résistance de l'air fait elle-même partie de la question présente; car il s'agit ici de la force d'inertie des corps en général. Si donc l'on convient que l'air, en qualité de matiere, fait résistance au mouvement des corps qui tendent à le déplacer (& l'on ne peut pas en disconvenir), il est prouvé que l'air a une force d'inertie. Si l'air, en qualité de matiere, a une pareille force, pourquoi les autres matieres n'en auroient-elles pas ? 3°. Si la résistance que fait le corps B, en repos, à l'effort du corps A, venoit uniquement de celle de l'air sur lequel il s'appuie, il faudroit, pour rendre cette résistance double, faire répondre le corps B à un volume d'air une fois plus grand, & par conséquent doubler sa surface antérieure. Or l'expérience prouve que, pour rendre double la résistance du corps B, il suffit de doubler son poids; ce qui, sur-tout dans les corps sphériques, ne double pas la surface, à beaucoup près. Il est donc évident que la résistance de la boule B ne vient point de celle de l'air.

45. On objecte encore que la force d'inertie

eſt la même choſe que la peſanteur, en diſant que c'eſt la peſanteur de la boule B qui s'oppoſe à ſon déplacement; car, dit-on, ſi elle n'eſt retenue par aucun obſtacle, elle tiendra le fil auquel elle eſt ſuſpendue, auſſi tendu qu'il peut l'être, & dans la ſituation verticale CB, & ſe placera au point le plus bas. On ne peut donc l'en faire ſortir ſans qu'elle ſoit plus élevée; ſi on la porte en 2, elle eſt plus élevée de la quantité BF; en 4, de la quantité BE, &c. Pour cela, il faut vaincre ſa peſanteur, qui fait effort pour la retenir au point B : on conclut de là que ce que l'on appelle *force d'inertie*, eſt la même choſe que la peſanteur. Il faut avouer que cette objection eſt ſpécieuſe; cependant elle tombera d'elle-même, ſi l'on fait attention que, lorſque la boule eſt au point le plus bas B, ſa peſanteur eſt réduite à zéro, parce qu'elle eſt totalement vaincue par le fil CB qui la tient ſuſpendue : l'effort de ſa peſanteur ne peut donc commencer à ſe faire ſentir, que lorſqu'elle eſt paſſée du point le plus bas à un point plus élevé; ſon déplacement doit donc précéder l'effort de ſa peſanteur. Mais pour opérer ce déplacement, il faut employer une force réelle, qui, ſi elle eſt trop petite pour déplacer la boule, n'en eſt pas moins une force réelle, & cependant n'a point d'effet. Dansce cas-là, la boule B réſiſte donc à une force réelle, & la détruit avant de

pouvoir agir comme pesante; elle résiste donc par une force indépendante de sa pesanteur; & c'est cette force qu'on appelle *force d'inertie.*

Voici de plus un raisonnement qui ne permet pas de confondre les effets de l'inertie avec ceux de la pesanteur. Supposons deux corps en tout semblables, de même matiere, de même figure, de même volume & de même poids, qui commencent à tomber librement dans le vide, de la même hauteur, & tous deux dans le même instant. Il est indubitable que ces deux corps obéiront complétement à leur pesanteur; qu'ils descendront tous deux avec la même vîtesse, & avec toute la vîtesse qu'exige leur pesanteur; & qu'ils arriveront tous deux ensemble sur le plan qui termine leur chûte. Si l'on veut que l'un des deux précede l'autre dans sa chûte, il faut, à l'effort de sa pesanteur, ajouter une autre force; il faut lui donner une nouvelle impulsion, qu'il ne peut pas recevoir de sa pesanteur, puisque nous supposons qu'il lui obéit complétement. Or tout ce qui exige une force pour être produit, est une véritable résistance. Ce corps qui, en tombant librement, obéit complétement à sa pesanteur, résiste donc à un mouvement plus prompt que celui qui lui vient de sa pesanteur: il y résiste donc par une force indépendante de sa pesanteur. C'est cette force qu'on appelle *force d'inertie.*

CHAPITRE

CHAPITRE II.

Du Mouvement & de ses Loix.

46. LE *Mouvement* est l'état d'un corps qui est actuellement transporté d'un lieu dans un autre, soit en totalité, soit eu égard seulement à ses parties. Un corps peut être en mouvement de deux façons; ou en totalité, comme un carrosse tiré par des chevaux, ou un bateau que le courant de la riviere emmene; l'un & l'autre changent continuellement de place & de rapports avec les objets qui les avoisinent; ou seulement eu égard à ses parties, comme les ailes d'un moulin qui tournent dans le même lieu; car chacune de leurs parties passe successivement par tous les points de la circonférence du cercle qu'elle décrit. Un corps se meut donc toutes les fois qu'il change de rapport ou de situation respectivement aux objets qui l'environnent, soit de près, soit de loin. Par exemple, un homme assis dans un carrosse qui chemine, change continuellement de rapports, sinon avec la caisse du carrosse ou les personnes qui l'accompagnent, du moins à l'égard des différens lieux qu'il parcourt. Ainsi, quoiqu'il soit fort tranquille, on ne peut pas dire qu'il soit en repos.

47. Il y a plusieurs sortes de mouvemens; savoir, le *Mouvement absolu* & le *Mouvement relatif*; le *Mouvement simple* & le *Mouvement composé*; le *Mouvement rectiligne* & le *Mouvement curviligne*; le *Mouvement réfléchi* & le *Mouvement réfracté*. Avant de parler de ces différentes especes de mouvemens, il faut prendre quelques notions préliminaires & générales pour toutes.

48. Il y a plusieurs choses à considérer dans un corps qui se meut; savoir, 1°. la force motrice qui imprime le mouvement à ce corps. 2°. La masse de ce corps par laquelle il résiste à la force qui tend à le faire sortir de son état. 3°. La direction que prend ce corps dans son mouvement, soit qu'il soit simple, soit qu'il soit composé. 4°. L'espace que ce corps parcourt. 5°. Le temps que ce corps emploie à parcourir cet espace. 6°. La vîtesse du mouvement de ce corps, c'est-à-dire, le rapport de l'espace que ce corps parcourt, & du temps qu'il emploie à le parcourir. 7°. La quantité du mouvement de ce corps.

1. *Force motrice.*

49. 1°. Tous les corps, par leur inertie, résistent à toute variation d'état (41). Un corps qui est en repos, ne se mettra donc jamais en mouvement, s'il n'y a une cause suffisante qui lui imprime ce mouvement. Cette cause active qui imprime, ou

qui du moins tend à imprimer le mouvement au corps, est ce qu'on appelle la *force motrice*. Il n'y a donc point de mouvement sans force motrice suffisante pour l'imprimer. On appelle *force motrice*, celle d'un ou de plusieurs corps employée pour en mouvoir d'autres. Telle est une impulsion donnée à un corps pour le faire avancer dans une direction quelconque.

Jusqu'à *Leibnitz*, on avoit toujours pensé que cette force, en toutes sortes de cas indistinctement, devoit être évaluée par le produit de la masse du moteur, multipliée par sa vîtesse. Mais *Leibnitz* a le premier établi une distinction entre la force motrice qui agit contre un obstacle invincible, & celle qui agit contre un obstacle qui cede. Il appelle la premiere *force morte*, & convient, avec tous les Physiciens, qu'elle doit être évaluée en multipliant la masse par la simple vîtesse. Il appelle la derniere *force vive*, & il prétend que, pour l'estimer selon sa juste valeur, il faut multiplier la masse, non pas par la vîtesse simple, mais par le quarré de la vîtesse; c'est-à-dire que si la vîtesse est 3, par exemple, il ne faut pas multiplier la masse seulement par 3, mais par 9, qui est le quarré de 3. *Leibnitz* a rapporté, en faveur de son opinion, des raisonnemens & des expériences spécieuses; & il a trouvé des défenseurs parmi des Physiciens très-éclairés : malgré cela,

le grand nombre a regardé ſon opinion comme un paradoxe. Nous allons examiner cette queſtion, en parlant de ces deux forces.

Force morte.

50. La *force morte* eſt donc celle qui agit contre un obſtacle invincible, qui conſiſte par conſéquent dans une ſimple tendance au mouvement, & qui ne produit aucun effet ſur l'obſtacle ſur lequel elle agit. Telle eſt, par exemple, la force d'un corps peſant qui tend à deſcendre, mais qui eſt poſé ſur une table ou ſuſpendu à une corde. Ce corps ne ſçauroit deſcendre, parce que la réſiſtance de la table ou de la corde l'en empêche. Cependant il preſſe la table où tend la corde, & il montre par-là ſa tendance au mouvement, qui ne peut avoir d'effet tant que ces obſtacles invincibles s'y oppoſent. Cette preſſion du corps peſant eſt donc ſans effet dans ces deux cas; ou plutôt les effets qu'elle produit, c'eſt-à-dire, la tenſion de la corde & la preſſion de la table ſont des effets qui n'épuiſent point la cauſe preſſante. Ainſi cette cauſe preſſante ne perd rien de ſa force, parce qu'elle ne la déploie point; mais elle tend ſeulement à la déployer. Lors donc que les obſtacles ſont invincibles, l'action de la force qui tend à les déplacer, eſt à tout moment détruite par ces obſtacles, & à tout moment reproduite par

l'effort continuel que fait la force pressante pour vaincre cette résistance. Ainsi les petits degrés que la force pressante imprime à l'obstacle qui retient son action, périssent en naissant, & naissent en périssant : & c'est dans ce retour de production & de destruction que consiste l'effet de la pesanteur d'un corps, lorsqu'il est retenu par un obstacle invincible. C'est cette pression, aussi-tôt détruite que produite, c'est cette force que la cause pressante tend à déployer sans succès, qu'on appelle *force morte*. La force morte d'un corps s'estime ou s'évalue, comme nous l'avons dit ci-dessus (49), par le produit de sa masse multipliée par sa vîtesse initiale, c'est-à-dire, par la vîtesse qu'il auroit dans le premier instant, si l'obstacle qui le retient, venoit à céder.

Force vive.

51. La *force vive* est celle d'un corps actuellement en mouvement, qui agit contre un obstacle qui cede, & qui produit un effet sur lui. Telle est la force d'un corps qui en va heurter un autre avec une vîtesse déterminée, & qui, en conséquence de son choc, le lance à une certaine distance. Cette force, comme nous l'avons dit ci-dessus (49), s'étoit toujours évaluée, ainsi que la force morte, par le produit de la masse multipliée par la vîtesse simple ; mais *Leibnitz* a cru

qu'il falloit l'estimer par le produit de la masse multipliée par le quarré de la vîtesse. Quelque opposée que fût cette opinion aux principes connus & adoptés de tout temps, elle a cependant trouvé des défenseurs. Cela a formé un procès littéraire, dont les pieces pour & contre se trouvent consignées en plusieurs Ouvrages, & sur-tout dans le XXIe. & dernier Chapitre d'un Ouvrage *in*-8°. intitulé : *Institutions de Physique*, qui est de Madame la *Marquise du Châtelet*, où elle a rassemblé tout ce qu'on peut dire en faveur des forces vives ; & dans un autre Ouvrage *in*-12. intitulé : *Dissertation sur l'Estimation & la Mesure des Forces motrices des corps*, par M. *de Mairan*, dans lequel il a fortement combattu l'opinion de *Leibnitz*. Les expériences apportées en preuve par l'un & l'autre parti, sont avouées de tout le monde ; ainsi il n'y a de différent que relativement aux conséquences que chacun en tire.

En faveur des forces vives, on suppose, par exemple, deux boules A & B de même matiere, de même masse & de même volume, qu'on laisse tomber librement de hauteurs convenables ; l'une A pendant une seconde, & l'autre B pendant 2 secondes, 1°. sur de la terre molle. Il est certain que la boule B fait dans cette terre molle un enfoncement quadruple de celui de la boule A ;

& que B déplace quatre fois autant de matiere qu'en déplace A. 2°. On suppose que ces boules tombent des mêmes hauteurs & pendant les mêmes temps que ci-dessus sur un plan parfaitement élastique. Dans ce cas, en faisant abstraction de la résistance du milieu, ces deux boules remontent, en vertu de la réaction, laquelle est égale à la compression (112), chacune pendant un temps égal à celui pendant lequel elle est descendue: savoir, A pendant une seconde, & B pendant 2 secondes; mais B remonte à une hauteur quadruple de celle à laquelle remonte A. On dit que, dans ce cas-là, B ne reçoit que 2 degrés de vîtesse, pendant que A en reçoit 1; & cependant les effets que produit B, sont quadruples de ceux que produit A: B déplace quatre fois autant de terre qu'en déplace A; donc son impulsion sur la terre molle est quadruple de celle de A: B, en vertu de la réaction, remonte à une hauteur quadruple de celle à laquelle remonte A; donc sa compression sur le plan est quadruple de celle de A. D'où l'on conclut que les forces vives sont comme les quarrés des vîtesses, & non pas comme les simples vîtesses: & que, pour avoir leur juste valeur, il faut les estimer par le produit de la masse multipliée par le quarré de la vîtesse, & non pas par la vîtesse simple.

On a répondu à cela, que, pour comparer avec

exactitude les forces de deux corps, il faut que les circonstances soient égales de part & d'autre, & avoir une mesure commune, qui est le temps pendant lequel chaque mobile agit. Or la boule B, qui, avec une vîtesse double, produit un effet quadruple, ne le produit que dans un temps double; d'où l'on doit conclure que sa force n'est que double en temps égal, c'est-à-dire, en raison de la vîtesse simple, & non pas du quarré de la vîtesse. En effet, supposons que deux hommes, *Jacques* & *Jean*, sont en marche; que *Jacques* fait 1 lieu dans 1 heure, & que *Jean* fait 4 lieues dans 2 heures. Il est évident que l'effet produit par la force de *Jean* est quadruple de l'effet produit par la force de *Jacques*. Cependant on ne conclura pas de là que la force de *Jean* est quadruple de celle de *Jacques* : pour que cela fût, il faudroit que *Jean* parcourût 4 lieues dans le même temps que *Jacques* emploie à en parcourir 1 : ce qui n'est pas; il y emploie un temps double. *Jean*, dans un temps égal, ne produit donc qu'un effet double de celui de *Jacques*, c'est-à-dire, en raison de sa vîtesse simple : & son effet total n'est quadruple, que parce qu'avec une vîtesse double, il marche pendant un temps double. Ainsi l'effet que produit *Jean* est quadruple de celui que produit *Jacques*, non pas parce que 4 est le quarré de 2, mais parce que 2 fois 2 font 4. Aussi,

quoique les sentimens soient partagés sur la maniere d'évaluer les forces des corps en mouvement, ou ce qu'on a appelé les *forces vives*, on est parfaitement d'accord sur le produit de ces forces & sur les effets qui en doivent résulter. Tout le monde convient, avec les défenseurs des forces vives, que les effets sont quadruples de la part d'un corps qui se meut avec 2 degrés de vîtesse par comparaison à celui qui n'en a que 1; mais, comme nous venons de le dire, ce n'est pas parce que 4 est le quarré de 2, c'est seulement parce que le mobile, qui a 2 degrés de vîtesse, fait un effort qui est répété 2 fois autant que celui d'un mobile qui se meut avec un seul degré de vîtesse. Si donc on fait entrer en ligne de compte la considération des temps, on peut, sans erreur, estimer indistinctement, dans la pratique, la force des corps par le produit de la masse multipliée par la simple vîtesse actuelle, s'ils se meuvent réellement; & s'ils sont retenus par des obstacles invincibles, par leur tendance au mouvement, qui est comme leur masse & leur vîtesse initiale, c'est-à-dire, celle avec laquelle ils commenceroient à se mouvoir, si l'obstacle venoit à céder. On peut aussi communément évaluer la force des corps en mouvement par le produit de la masse multipliée par le quarré de la vîtesse; l'opération est plus courte. Je dis *communément*, parce que cette

maniere d'évaluer les forces n'est pas applicable dans tous les cas, comme, par exemple, dans ceux où les corps vont se heurter par des mouvemens en sens contraires, ainsi que le prouve M. *de Mairan*, par une expérience qu'il rapporte contre les forces vives, & dont le résultat est reconnu & avoué des deux partis : ce qui prouve bien le défaut de l'opinion de *Leibnitz*.

Cette expérience est celle de deux corps mous, ou à ressort, qui viennent se choquer par des mouvemens en sens contraires, & avec des vîtesses qui sont entre elles en raison inverse de leurs masses; car on sait qu'il en résulte le repos, si les corps sont mous & sans ressort (145); & un retour en arriere après le choc, avec les mêmes vîtesses qu'avant le choc, si les corps ont un ressort parfait (153); ce qui prouve qu'ils se choquent avec des forces égales. Cela n'arriveroit pas ainsi, si les forces étoient comme les quarrés des vîtesses : le corps, par exemple, qui auroit 6 de vîtesse avec 2 de masse, & par conséquent 72 de force, devroit nécessairement emporter celui qui, avec 6 de masse, n'auroit que 2 de vîtesse, & par-là seulement 24 de force.

On a répondu à cela, que ce triple de force qu'a le corps qui se meut avec 6 de vîtesse, est consumé par les enfoncemens & les déplacemens de matiere qu'il fait sur celui qui n'a que 2 de vîtesse.

Mais, dit M. *de Mairan*, quel eſt le point d'appui des efforts néceſſaires pour produire ces enfoncemens & cette introceſſion de matiere? Qu'eſt-ce qui les ſoutient par une réaction égale à l'action? N'eſt-ce pas le centre de gravité de la maſſe triple, qui n'a que 2 de vîteſſe? Cette maſſe elle-même ne conſume-t-elle pas autant de ſa force à ſoutenir les efforts de ces déplacemens, que le corps choquant perd de la ſienne à les produire; & ce qu'elle en conſume, ne la diſpoſe-t-il pas d'autant à céder? Il n'y a donc point d'efforts perdus à cet égard, ou plutôt ceux qui ſont perdus d'une part, ſont communiqués de l'autre par un échange réciproque. Ainſi la maſſe inférieure en force devroit être entraînée.

Ceci devient encore plus évident dans le cas des corps à reſſort; car les enfoncemens & les applatiſſemens qu'ils ſouffrent mutuellement dans le choc, ſont, en vertu du rétabliſſement qui leur ſuccede, la ſource même de la force néceſſaire pour retourner en arriere avec les mêmes vîteſſes après le choc qu'ils avoient avant le choc. Donc, ſi les forces étoient comme les quarrés des vîteſſes, celui qui n'avoit que 2 de vîteſſe & 6 de maſſe, ſeroit repouſſé en arriere par le choc de celui qui avoit 2 de maſſe & 6 de vîteſſe, avec plus de force ou de vîteſſe qu'il n'en avoit avant le choc; ce qui eſt contraire à l'expérience.

On pourra donc évaluer les forces motrices en multipliant les masses, ou par la vîtesse simple, en y ajoutant la considération des temps, ou par le quarré de la vîtesse; hors les cas où les corps vont se choquer par des mouvemens en sens contraires.

2. *Masse des corps.*

52. 2°. Les corps résistent également au mouvement & au repos par leur force d'inertie (41): cette force est proportionnelle à leur *masse*, ou à la quantité de matiere qu'ils contiennent, puisqu'elle appartient à chaque partie de la matiere. Un corps résiste donc d'autant plus au mouvement qu'on tend à lui imprimer, qu'il a plus de masse, toutes choses d'ailleurs égales. Ainsi, plus un corps a de masse, moins il acquiert de vîtesse par la même impulsion : les vîtesses des corps qui éprouvent des impulsions égales, sont donc en raison inverse de leurs masses.

3. *Direction des Mouvemens.*

53. 3°. Il n'y a point de mouvement sans une détermination particuliere : ainsi tout corps qui se meut, tend vers quelque point; & c'est cette tendance qu'on appelle *direction.* Si ce corps n'obéit qu'à une seule force, ou à plusieurs semblablement dirigées, il se meut d'un mouvement simple, &

il ne tend qu'à un ſeul point. Si pluſieurs puiſſances, différemment dirigées, le commandent en même temps, il tend à pluſieurs points; mais comme il ne peut pas aller vers pluſieurs points tout-à-la-fois, ſon mouvement ſe compoſe : il prend une direction moyenne entre celles des puiſſances auxquelles il obéit (160) : alors il ſe comporte comme un corps qui ſe meut d'un mouvement ſimple; il ne tend plus qu'à un ſeul point. La ligne tirée de ce corps au point vers lequel il tend, ſoit qu'il ſe meuve d'un mouvement ſimple, ſoit qu'il ſe meuve d'un mouvement compoſé, repréſente la direction du mouvement de ce corps; & s'il ſe meut, il parcourra certainement cette ligne, à moins que ſon mouvement ne ſoit compoſé de puiſſances dont les rapports changent (168); auquel cas, il parcourra une ligne courbe, laquelle eſt cependant elle-même compoſée de lignes droites, infiniment courtes & inſenſiblement inclinées entre elles, & formant enſemble des angles fort obtus.

4. *Eſpace parcouru.*

54. 4°. L'*eſpace* que parcourt un corps, eſt la ligne décrite par ce corps pendant ſon mouvement. Si le corps qui ſe meut étoit un point, l'eſpace parcouru ne ſeroit qu'une ligne mathématique; mais comme il n'y a point de corps qui ne ſoit

étendu (6), l'espace parcouru a toujours quelque largeur; malgré cela, quand on mesure cet espace parcouru par un corps, on ne fait attention qu'à sa longueur, qui peut être plus ou moins grande.

5. *Temps employé.*

55. 5°. Un corps emploie nécessairement un *temps* quelconque à parcourir un espace. Si le corps
Fig. 3. A (*fig.* 3) parcourt l'espace A B, il s'écoulera une portion de temps pendant qu'il ira de A en B, quelque petit que l'espace AB puisse être; car le moment où ce corps sera en A, ne sera pas celui où il sera en B, un corps ne pouvant être en deux lieux à la fois. Ainsi tout espace parcouru l'est en un temps quelconque, qui peut être plus ou moins long.

6. *Vîtesse.*

56. 6°. La *vîtesse* d'un corps qui se meut, est la faculté qu'il a de parcourir un certain espace en un certain temps. Plus cet espace est grand, & ce temps court, plus la vîtesse est considérable. La vîtesse d'un corps est donc le rapport qu'il y a entre l'espace qu'il parcourt, & le temps qu'il emploie à le parcourir. Il n'y a donc point de mouvement sans une vîtesse quelconque. Pour connoître cette vîtesse, il ne s'agit que de diviser l'espace par le temps; de même qu'on connoîtra

l'espace, en multipliant la vîtesse par le temps. Par exemple, un corps parcourt 1000 toises en 10 minutes; sa vîtesse est de 100 toises par minute, parce que 100 est le quotient de 1000, divisé par 10. Si l'on compare les vîtesses de deux corps, on en aura le rapport en suivant la même regle. Supposons, par exemple, qu'un corps A parcoure 54 toises en 9 minutes, & qu'un corps B en parcoure 96 en 6 minutes; la vîtesse du corps A est à celle du corps B comme 6, quotient de 54 divisés par 9, est à 16, quotient de 96 divisés par 6.

Il suit de là, que deux corps qui parcourent des espaces inégaux en temps inégaux, ont leurs vîtesses comme les espaces parcourus, divisés par les temps employés à les parcourir, comme dans l'exemple ci-dessus. Si ces deux corps parcourent des espaces inégaux en temps égaux, leurs vîtesses sont entre elles en raison directe des espaces parcourus: si le corps A, par exemple, parcourt 200 toises en 2 minutes, & que le corps B ne parcoure que 100 toises dans le même temps, leurs vîtesses sont entre elles comme 200 est à 100, ou comme 2 est à 1. Mais si ces deux corps parcourent des espaces égaux en temps inégaux, leurs vîtesses sont entre elles en raison inverse des temps employés à les parcourir: si les deux corps A & B parcourent 200 toises, savoir, A en 1 minute, &

B en 2 minutes, la vîteſſe de A eſt à celle de B, comme 2 eſt à 1, en raiſon inverſe des temps.

La vîteſſe d'un corps qui ſe meut, peut être ou uniforme, ou accélérée, ou retardée.

57. La vîteſſe de ce corps eſt *uniforme*, s'il parcourt des eſpaces égaux en temps égaux. Suppoſons, par exemple, un corps qui parcourt une toiſe dans une ſeconde; une autre toiſe dans la ſeconde ſuivante; encore une toiſe dans la troiſieme ſeconde, & ainſi de ſuite; de façon que les temps & les eſpaces parcourus en chaque temps, ſoient toujours égaux entre eux : ce corps a une vîteſſe uniforme. On conçoit aiſément que cette uniformité de vîteſſe eſt poſſible; mais elle eſt très-rare dans l'état naturel, à cauſe des obſtacles inévitables, qui apportent à chaque inſtant quelque changement aux mouvemens des corps (76 & 96).

58. La vîteſſe d'un corps eſt *accélérée*, ſi, pendant des temps égaux & ſucceſſifs, il parcourt des eſpaces qui vont toujours en augmentant de plus en plus; ou s'il parcourt des eſpaces tous égaux entre eux, mais dans des temps qui décroiſſent de plus en plus. Telle eſt la vîteſſe d'un corps qui tombe librement, & qui va plus vîte vers la fin de ſa chûte qu'au commencement (214).

59. La vîteſſe d'un corps eſt *retardée*, ſi, dans des temps égaux & ſucceſſifs, il parcourt des

eſpaces

espaces qui vont toujours en décroissant de plus en plus ; ou s'il parcourt des espaces tous égaux entre eux, mais dans des temps qui augmentent de plus en plus. Telle est, par exemple, la vîtesse d'une boule qui roule sur le terrein, & qui se ralentit peu à peu, jusqu'à ce que la boule soit réduite au repos.

On distingue encore la vîtesse des corps en vîtesse absolue, vîtesse relative, & vîtesse respective.

60. La vîtesse *absolue* est celle d'un corps considérée en elle-même, & sans aucun rapport avec la vîtesse d'un autre corps : comme lorsqu'on considere la vîtesse d'un cheval qui fait 4 lieues en 2 heures de temps. Sa vîtesse est de deux lieues par heure. La vîtesse propre ou absolue d'un corps est donc le rapport de l'espace qu'il parcourt, & du temps qu'il emploie à le parcourir.

61. La vîtesse *relative* est celle d'un corps comparée avec celle d'un autre corps : comme lorsqu'on compare les vîtesses de deux chevaux, qui parcourent le même nombre de lieues, mais dont l'un met plus de temps que n'en met l'autre à parcourir cet espace. Leurs vîtesses sont entre elles en raison inverse de temps employés (56). Ainsi, si l'un y employoit 1 heure & l'autre 2 heures, la vîtesse du premier seroit à celle du second, comme 2 est à 1. Si ces deux chevaux

marchoient pendant le même temps, mais que l'un des deux fît plus de chemin que l'autre, leurs vîtesses seroient alors en raison directe des espaces parcourus (56). Ainsi, si l'un parcouroit un espace double de celui que l'autre parcourt, sa vîtesse seroit double de celle de l'autre.

62. La vîtesse *respective* est celle avec laquelle l'espace qui sépare deux corps est parcouru, ou par l'un des deux entiérement, ou en partie par l'un & en partie par l'autre; c'est-à-dire, soit que l'un des deux corps reste en repos, tandis que l'autre parcourt l'espace entier; soit qu'ils se meuvent tous deux, dans le même sens ou en sens contraires, avec des vîtesses égales ou inégales. De
Fig. 4. sorte que, si deux corps A & B (*fig.* 4), distans de 4 pieds, se joignent en 1 seconde, la vîtesse respective de ces deux corps est toujours la même, soit que A seul parcoure l'espace entier, soit que, B venant à lui, il le rencontre, par exemple, en 3; soit que, B allant dans le même sens que A, B parcoure, par exemple, 3 pieds pendant que A en parcourt 7, &c. pourvu que, dans tous les cas, les deux corps se joignent en 1 seconde exactement. Ce qui fait voir clairement qu'il ne faut pas confondre la vîtesse respective avec la vîtesse absolue ou propre de chaque corps (60); car, dans le premier cas seulement, la vîtesse absolue de A est la même que la vîtesse respective, c'est-à-dire, de

4 pieds par seconde ; & la vîtesse absolue de B est zéro. Mais dans le second cas, la vîtesse absolue de A est de 3 pieds ; celle de B, de 1 pied ; & la vîtesse respective, de 4 pieds par seconde. Dans le troisieme cas, la vîtesse absolue de A est de 7 pieds ; celle de B, de 3 pieds, & la vîtesse respective toujours de 4 pieds par seconde.

On appelle aussi, & dans le même sens, *vîtesse respective*, celle avec laquelle deux corps s'éloignent l'un de l'autre d'un certain espace dans un temps déterminé, quelles que soient leurs vîtesses absolues.

7. *Quantité du Mouvement.*

63. 7°. La *quantité du mouvement* d'un corps s'estime ou s'évalue en multipliant la masse de ce corps par sa vîtesse, car elle y est proportionnelle ; en sorte que le même corps a plus de mouvement, quand il a ou plus de masse ou plus de vîtesse ; ou, ce qui est la même chose, de deux corps dont les masses sont égales, celui qui a le plus de vîtesse, a le plus de mouvement ; & de deux corps dont les vîtesses sont égales, celui qui a le plus de masse, a le plus de mouvement : car la vîtesse, imprimée à un corps quelconque, appartient à chaque partie de ce corps ; & si elles se désunissoient, chacune continueroit de se mouvoir avec le même degré de vîtesse qui a été imprimé au corps entier, abstraction faite des obstacles qui augmentent

en conſéquence de la diviſion. Suppoſons, par exemple, qu'un corps A, qui a 4 de maſſe, & un corps B qui a 2 de maſſe, ſe meuvent chacun avec 6 degrés de vîteſſe : on peut concevoir le corps A, diviſé en 2 parties égales, ſe mouvant avec ces 6 degrés de vîteſſe : chacune de ces parties a donc une quantité de mouvement égale à celle du corps B, puiſqu'elle a la même maſſe & la même vîteſſe. Ces deux parties, réunies pour former le corps A, ont donc une quantité de mouvement double de celle du corps B, par la raiſon que la maſſe eſt double. On concluroit la même choſe, ſi les deux maſſes étant égales, le corps A avoit une vîteſſe double de celle du corps B. On a donc le rapport des quantités du mouvement de deux corps, en multipliant la maſſe de chacun par ſa vîteſſe, ſoit que leurs maſſes & leurs vîteſſes ſoient égales ou non. Suppoſons, par exemple, un corps A qui a 4 de maſſe & 6 de vîteſſe, & un corps B qui a 7 de maſſe & 5 de vîteſſe; la quantité du mouvement du corps A eſt à celle du corps B, comme 24, produit de 4 de maſſe, multipliés par 6 de vîteſſe, eſt à 35, produit de 7 de maſſe, multipliés par 5 de vîteſſe. En général, *la quantité du mouvement d'un corps eſt en raiſon compoſée de ſa maſſe & de ſa vîteſſe.*

64. Un corps qui ſe meut, peut en mouvoir

d'autres, & cela d'autant mieux, qu'il a une plus grande quantité de mouvement; & comme cette quantité de mouvement eſt relative à ſa maſſe & à ſa vîteſſe (63), & qu'elle croît autant par l'une que par l'autre, on peut auſſi compenſer l'une par l'autre, ſuivant les circonſtances; car un corps qui a peu de maſſe, fait autant d'effort avec beaucoup de vîteſſe, qu'un autre en feroit avec moins de vîteſſe, s'il avoit plus de maſſe. Tout le monde ſait qu'avec un petit marteau, qu'on fait agir promptement, on enfonce autant le même clou, qu'on le feroit avec un gros marteau qui agiroit lentement.

Mouvement abſolu.

65. Le mouvement abſolu eſt le changement de rapport de ſituation d'un corps reſpectivement à tous les autres corps qui l'avoiſinent ou qui l'entourent. Tel eſt le mouvement d'un homme qui va d'un lieu à un autre; il change continuellement de rapport de ſituation reſpectivement aux différentes parties du terrein qu'il parcourt.

Mouvement relatif.

66. Le mouvement relatif eſt le changement de rapport de ſituation d'un corps relativement à certains corps qui l'environnent, ſoit de près, ſoit de loin; & non pas relativement à d'autres. Un

corps peut être en repos relativement à quelques-uns des corps qui l'entourent, & en mouvement relativement à d'autres corps. Par exemple, un homme immobile dans un vaiſſeau qui fait route, eſt en repos relativement au vaiſſeau & à ce qu'il contient; mais il eſt en un *mouvement relatif*, eu égard au rivage. Si cet homme, au lieu de ſe tenir en repos dans le vaiſſeau, s'y promenoit, il ſeroit en un mouvement relatif reſpectivement au vaiſſeau, & reſpectivement au rivage; car cet homme, par ſon mouvement propre, changeroit de ſituation avec les différentes parties du vaiſſeau; & par ſon mouvement commun avec le vaiſſeau qui le tranſporte, il changeroit de ſituation avec les corps qui ſont ſur le rivage. Cependant, ſi cet homme, tandis que le vaiſſeau cingle, marche de la proue à la poupe avec une vîteſſe égale à celle avec laquelle le vaiſſeau avance; c'eſt-à-dire, s'il parcourt la longueur du vaiſſeau dans le même temps que le vaiſſeau emploie à avancer d'une pareille quantité & en ſens contraire, cet homme eſt bien en mouvement relativement au vaiſſeau; mais il n'y eſt pas relativement au rivage: car il répond toujours au même point; & quelqu'un qui du rivage regarderoit cet homme, le verroit toujours correſpondre au même point du rivage oppoſé.

Mouvement ſimple.

67. Le mouvement ſimple eſt celui d'un corps qui n'eſt dirigé que vers un ſeul point ; ſoit que ce corps ſoit pouſſé ou tiré par une ſeule puiſſance, ſoit qu'il y en ait pluſieurs qui le pouſſent ou le tirent dans la même direction. Un *mouvement ſimple* eſt donc l'effet d'une ſeule impulſion, ou de pluſieurs qui agiſſent enſemble ou ſucceſſivement dans la même direction. Tel eſt celui d'un corps grave, qui n'eſt commandé que par ſa peſanteur, laquelle le fait deſcendre par une ligne perpendiculaire à l'horizon. Tel eſt encore celui d'une voiture tirée par ſix chevaux.

Mouvement compoſé.

68. Le mouvement compoſé eſt celui d'un corps qui eſt déterminé à ſe mouvoir par pluſieurs puiſſances qui agiſſent en même temps & ſelon des directions différentes, & qui font angle enſemble ou qui ſe croiſent au mobile. Un *mouvement compoſé* eſt donc l'effet de pluſieurs impulſions qui agiſſent en même temps, & dont les directions ſe croiſent. Tel eſt celui d'un bateau AE (*fig.* 5) Fig. 5. qui ſuit la direction d'un canal AB, en obéiſſant en même temps à l'effort de deux hommes C, D, qui, placés chacun ſur un des rivages, tirent le bateau, l'un par le moyen de la corde EC, &

l'autre par le moyen de la corde ED. Ce bateau suit, en vertu de ces deux puissances, la direction EB.

Nous reviendrons en détail sur ce mouvement (159), qui se rencontre très-souvent dans la Nature.

Mouvement rectiligne.

69. Le mouvement rectiligne est celui qui se fait en ligne droite. Il a toujours lieu dans les mouvemens simples (67). Il a lieu aussi dans les mouvemens composés, lorsque les puissances qui les produisent, persévèrent dans les mêmes rapports entre elles pendant toute la durée du mouvement, soit que ces puissances ne souffrent aucun changement, soit que les changemens soient égaux ou proportionnels de part & d'autre (161).

Mouvement curviligne.

70. Le mouvement curviligne est celui qui se fait en ligne courbe. Tels sont tous les mouvemens composés (68), produits par des puissances, qui, agissant ensemble, changent à chaque instant de rapports, soit quant à la direction, soit quant à l'intensité ou à la force.

Mouvement réfléchi.

71. Le mouvement réfléchi est celui d'un corps

qui rencontre un obſtacle impénétrable pour lui, tel qu'un mur, un rocher, &c. lequel l'oblige à rebrouſſer chemin, & le fait rejaillir après le choc. Tel eſt le mouvement d'une balle de paume, qui, après avoir touché le mur vers lequel on la lance, rejaillit vers celui qui l'a lancée.

Mouvement réfracté.

72. Le mouvement réfracté eſt celui d'un corps qui paſſe obliquement d'un milieu dans un autre, plus ou moins réſiſtant que le milieu d'où il ſort, & dont le plus ou moins de réſiſtance oblige le corps de quitter ſa premiere direction. Tel eſt le mouvement d'un corps qui paſſe de l'air dans l'eau, ou de l'eau dans l'air, en ſe préſentant obliquement un plan qui ſépare les deux milieux. On voit par-là, que, pour que le *mouvement réfracté* ait lieu, deux choſes ſont abſolument néceſſaires; ſavoir, le changement de milieu, & l'obliquité d'incidence ſur le plan qui ſépare ces deux milieux.

Loix du Mouvement.

73. On appelle *Loix du mouvement*, certaines regles ſuivant leſquelles les corps ſe meuvent, quand ils agiſſent les uns ſur les autres.

Il y a deux ſortes de mouvemens; ſavoir, le *ſimple* (67), & le *composé* (68), dont tous les

autres mouvemens, dont nous venons de parler; ne sont que des especes particulieres. En établissant les loix de ces deux mouvemens, nous aurons donc établi celles des autres : il ne restera plus qu'à ajouter quelques particularités, dont nous parlerons dans la suite.

I. *Loix du Mouvement simple.*

74. *Tout corps qui est une fois mis en mouvement, doit continuer de se mouvoir dans la direction & avec le degré de vîtesse qu'il a reçu, si son état n'est changé par quelque cause nouvelle.*

Si donc ce corps quitte la ligne droite qu'il a commencé à décrire, si sa vîtesse s'accélere ou se ralentit, ces changemens viennent certainement d'une cause particuliere, qui le détermine autrement, qui ajoute ou qui retranche à sa vîtesse; sans quoi la premiere cause ne cesseroit pas d'avoir pleinement son effet; car tous les corps ont une force d'inertie (41), par laquelle ils résistent à toutes variations d'état; & cette résistance ne peut être détruite que par une puissance qui lui soit opposée. Sans cette puissance, la loi auroit donc son effet.

75. Mais on peut objecter que cette loi assigne aux corps en mouvement une constance de direction & de vîtesse qui ne se rencontre jamais; car tout mouvement se ralentit, & tout mobile

revient en repos, après un temps plus ou moins long.

Il eſt bien vrai qu'aucune expérience ne prouve directement l'énoncé de cette loi. Mais, 1°. tout corps, en tel état qu'il ſoit, tend à y perſévérer par ſa force d'inertie (41) : ce principe ſeul ſuffit pour prouver que la loi dont il s'agit exiſte dans la Nature. 2°. Si les corps perdent toujours leur mouvement après un certain temps, c'eſt qu'il y a toujours des obſtacles qui le leur font perdre : car, 1°. les corps, dans quelque endroit & de quelque maniere qu'on les faſſe mouvoir, ſe trouvent toujours plongés dans quelque fluide qui, à cet égard, ſe nomme *milieu*, & qu'ils ſont obligés de déplacer ſans ceſſe pour ſe faire un paſſage ; & comme ce milieu eſt matériel, & par conſéquent impénétrable (11), il fait une continuelle réſiſtance au mobile qui tend à le déplacer. Ce mobile ne peut donc continuer de ſe mouvoir, qu'en employant à chaque inſtant une partie de ſon mouvement pour vaincre cette réſiſtance : ainſi, après un certain temps, il a tout employé, & ſe trouve réduit au repos. 2°. Tous les corps étant peſans (198), aucun d'eux ne peut ſe mouvoir, qu'il ne ſoit ſoutenu ou par une ſuſpenſion, ou par un plan, ou du moins qu'il ne gliſſe dans quelque fluide qui le touche de toutes parts. De quelque maniere qu'on s'y prenne, il faut toujours qu'il paſſe par

les différens points de la surface du plan qu'il parcourt, ou du fluide qu'il divise. Cette application successive de surface à surface se nomme *frottement*, & apporte une résistance au mouvement. Or ces deux résistances, celle des milieux & celle qui vient des frottemens, sont, comme l'on voit, tellement liées à l'état naturel, qu'elles sont absolument inévitables. Si ces résistances cessoient d'exister, notre premiere loi auroit certainement son plein & entier effet. Un corps qui seroit une fois mis en mouvement dans le vide absolu, s'il étoit possible, continueroit donc à se mouvoir pendant l'éternité dans ce vide, & y parcourroit à jamais des espaces égaux en temps égaux; puisque là aucun obstacle ne consumeroit la force de ce corps, ni en tout, ni en partie.

Comme nous sommes souvent intéressés à connoître la quantité de mouvement qui reste à un corps, déduction faite de celle que lui ont fait perdre les résistances qui naissent & des milieux & des frottemens, voyons donc ce qu'on doit considérer, quand on veut évaluer ces résistances.

Résistance des Milieux, ou des Fluides.

76. La résistance des milieux est l'obstacle que les fluides, au travers desquels les corps se meuvent, opposent au mouvement de ces corps (75); car ces fluides ou milieux étant matériels, résistent,

comme tous les autres corps, par leur inertie (11), aux efforts qui tendent à les déplacer. Cette résistance est proportionnelle à la masse (24) qui doit être déplacée. La valeur de cette masse dépend, 1°. de la densité du milieu; 2°. du volume qu'il en faut déplacer : donc plus cette densité & ce volume sont grands, plus la résistance du milieu est considérable. Mais ce volume, qui doit être déplacé, se mesure par la surface antérieure du corps qui se meut, & par l'espace que ce corps parcourt dans un temps donné. Donc, plus la surface antérieure & la vîtesse de ce corps sont grandes, plus est grande la masse déplacée du milieu; & par conséquent plus est grande sa résistance.

77. Pour évaluer cette résistance, *Newton* a donné une regle qui nous fournit du moins quelques notions. Il a démontré qu'un *corps sphérique*, qui se meut dans un milieu tranquille, d'une densité égale à la sienne, perd la moitié de son mouvement en parcourant un espace égal à $\frac{8}{3}$ de son diametre. Ce que cette sphere déplace du fluide, équivaut à un cylindre dont la base a pour diametre celui de la sphere, & pour axe la ligne que son centre décrit; c'est-à-dire, $\frac{8}{3}$ du diametre de la sphere. Or le cylindre est à la sphere de même diametre comme 3 est à 2. Un cylindre dont la base a pour diametre celui d'une sphere, & pour hauteur les $\frac{2}{3}$ de ce diametre (supposant égales les

densités de l'un & de l'autre), a donc une masse égale à celle de la sphere. Donc, dans ce cas-là, la masse déplacée du fluide est à la masse du corps sphérique, comme 8 est à 2, ou comme 4 est à 1. Par conséquent, quelle que soit la densité du milieu, ainsi que celle du corps sphérique qui s'y meut, toutes les fois que ce corps sphérique aura déplacé une masse de ce milieu qui égale 4 fois la sienne, il aura perdu la moitié de son mouvement.

78. Pour savoir donc quel espace un corps sphérique doit parcourir, par exemple, dans l'eau, pour perdre la moitié de son mouvement, il faut connoître le rapport de la densité de ce corps à celle de l'eau. La densité de l'or pur est à celle de l'eau, comme 192581 est à 10000; la densité du cuivre jaune est à celle de l'eau, comme 83958 est à 10000; la densité du plomb est à celle de l'eau, comme 113523 est à 10000. D'où il suit qu'une sphere d'or, pour perdre la moitié de son mouvement, doit parcourir dans l'eau un espace égal à 51 fois & $\frac{1}{3}$ son diametre; la boule de cuivre, un espace égal à 22 fois & $\frac{2}{3}$ son diametre; & la boule de plomb, un espace égal à 30 fois & $\frac{3}{4}$ son diametre. Nous avons supposé que le corps est sphérique; car s'il avoit une autre figure, il éprouveroit une résistance différente; & pour perdre la moitié de son mouvement, il lui faudroit parcourir un espace ou plus ou moins grand, suivant

la figure qu'il auroit, ou ſuivant celle de la ſurface qui, pendant le mouvement, ſeroit antérieure.

M. *Jacques Bernouilli* a démontré les théorêmes ſuivans.

79. Si un triangle iſocelle eſt mu dans un fluide ſuivant la direction d'une ligne perpendiculaire à ſa baſe, d'abord par ſa pointe, enſuite par ſa baſe, la réſiſtance dans le premier cas ſera à la réſiſtance dans le ſecond cas, comme le quarré de la moitié de la baſe eſt au quarré d'un des côtés. D'où l'on voit que plus l'angle du ſommet du triangle ſera aigu, moins grande ſera la réſiſtance.

80. La réſiſtance d'un quarré mu ſuivant la direction de ſon côté, eſt à la réſiſtance de ce même quarré mu ſuivant la direction de ſa diagonale, comme le côté eſt à la moitié de la diagonale.

81. La réſiſtance d'un demi-cercle qui ſe meut par ſa baſe, eſt à ſa réſiſtance, lorſqu'il ſe meut par ſon ſommet, comme 3 eſt à 2. (L'expérience fait voir que c'eſt comme 3 à moins de 2.)

Ces regles peuvent être utiles juſqu'à un certain point dans la conſtruction des vaiſſeaux.

82. Nous avons dit ci-deſſus (76) que la réſiſtance des milieux dépend de la quantité qu'on en déplace dans un temps donné; & que cette quantité eſt meſurée par la ſurface antérieure du

corps qui se meut, & par le chemin qu'il parcourt pendant ce temps. Donc, plus cette surface est grande, plus la résistance est considérable. C'est pourquoi, lorsqu'un vaisseau a toutes ses voiles déployées, il donne plus de prise au vent. Il suit de là que le même corps, parcourant des espaces égaux dans le même temps, peut éprouver dans le même milieu des résistances plus ou moins grandes, suivant la maniere dont il se présente au choc du milieu. On sait qu'on éprouve dans l'eau une plus grande résistance, en y faisant mouvoir sa main par le plat, que par le tranchant. C'est pourquoi le Batelier fait agir sa rame par le plat, quand il cherche un point d'appui dans la résistance de l'eau; mais il la releve par le tranchant pour se moins fatiguer. Par la même raison, une regle plate qu'on fait mouvoir dans l'air, y éprouve une moindre résistance par son tranchant, que par son plat.

83. Cette résistance des milieux croît aussi à mesure que la vîtesse du mobile augmente; & elle ne croît pas simplement comme la vîtesse, mais à peu près comme le quarré de la vîtesse: de sorte que, si l'on suppose deux corps égaux A & B, qui se meuvent tous deux dans le même milieu; & que A se meuve avec une vîtesse triple de celle de B, A éprouvera une résistance neuf fois aussi grande que celle qu'éprouvera B; car quand des corps

corps semblables se meuvent à travers le même fluide, avec des vîtesses différentes, cette résistance croît en proportion du nombre des particules frappées dans un temps égal, & ce nombre est comme l'espace parcouru dans le même temps, c'est-à-dire, comme la vîtesse: mais de plus, elle croît en proportion de la force avec laquelle le corps heurte contre chaque partie; & cette force est comme la vîtesse du corps. Par conséquent, si la vîtesse est triple, la résistance est triple, à cause du nombre triple de parties que le corps doit écarter: elle est aussi triple, à cause du choc trois fois aussi fort dont elle frappe chaque particule. C'est pourquoi la résistance totale est neuf fois aussi grande, c'est-à-dire, comme le quarré de la vîtesse. Ainsi un corps qui se meut dans un fluide, est rétardé, partie en raison simple de sa vîtesse, & partie en raison doublée de cette même vîtesse; & quand cette vîtesse est crue à un certain point, le corps frappe le fluide plus vîte qu'il ne peut céder; & ce fluide sert de point d'appui. Pourquoi, par exemple, les coups de rames font-ils avancer un bateau? & pourquoi le font-ils avancer d'autant plus vîte, qu'ils sont plus prompts & plus fréquens? C'est que, lorsqu'on frappe l'eau plus vîte qu'elle ne peut céder, elle devient, par cette lenteur à obéir, le point d'appui de la rame. Les poissons font avec leurs nageoires & leur queue, les

Nageurs font avec leurs bras & leurs jambes, ce que le Batelier fait avec ses rames.

84. L'air, étant matériel, est un milieu résistant, comme les autres; à cela près qu'étant moins dense, il résiste moins. Pour qu'il serve de point d'appui, il faut donc le frapper ou plus vîte, ou en plus grand volume. Aussi les oiseaux qui volent long-temps & fort loin, comme les hirondelles, les oiseaux de proie, plusieurs oiseaux aquatiques, &c. ont peu de corps, beaucoup de plumes, & les ailes fort grandes, afin de pouvoir frapper un plus grand volume d'air, & n'avoir pas besoin d'une grande vîtesse, qui les fatigueroit beaucoup. Ceux au contraire qui ont un vol plus court & moins fréquent, ont plus de chair, & des ailes par proportion plus petites : c'est pourquoi ils ont besoin de frapper l'air avec plus de vîtesse; ce qui les fatigue, & les empêche d'aller loin. Que l'on compare maintenant le poids d'un homme avec la force qu'il lui faudroit avoir dans les muscles des bras, pour mouvoir des ailes d'une grandeur proportionnée à sa masse, & avec une vîtesse capable de le soutenir en l'air; & l'on jugera de la folie de ceux qui ont cherché les moyens de voler. Que l'on ne dise pas que les ballons nous ont prouvé ces moyens possibles : ce n'est pas le même cas, à beaucoup près. Un homme est soutenu en l'air par son ballon, qui est un corps plus léger qu'un

pareil volume du fluide dans lequel il eſt plongé; & il y eſt ſoutenu, ſans avoir beſoin d'employer aucune force.

85. La réſiſtance qui vient de la cohéſion des parties dans les fluides, excepté ceux qui ſont glutineux, n'eſt guere ſenſible en comparaiſon de l'autre réſiſtance, qui eſt en raiſon des quarrés des vîteſſes. Plus la vîteſſe eſt grande, plus les deux réſiſtances ſont différentes; c'eſt pourquoi, dans les mouvemens rapides, il ne faut conſidérer que la réſiſtance qui eſt comme le quarré de la vîteſſe.

86. Si le milieu eſt agité, ſa réſiſtance ſera augmentée ou diminuée par ſon mouvement propre; augmentée, ſi le milieu ſe meut en ſens contraire du mobile; diminuée ou même annullée, ſi le mobile & le milieu ſe meuvent dans le même ſens. Un poiſſon, par exemple, qui remonte le courant d'une riviere, un homme qui va contre le vent, ont chacun deux réſiſtances à vaincre: l'une eſt l'inertie du volume du milieu qu'il leur faut déplacer, comme ils le feroient dans un fluide tranquille; l'autre eſt le mouvement acquis du fluide, dont la direction eſt contraire à la leur. C'eſt pour cette raiſon que, quand on fait mouvoir un corps contre la direction d'un fluide dont le mouvement eſt rapide, on diminue ſon volume autant qu'il eſt poſſible, pour donner moins de priſe à l'effort du courant. Un vaiſſeau qui a le vent

contraire, plie ſes voiles; quand le vent eſt trop fort, le Meûnier déshabille en partie les ailes de ſon moulin.

87. Si le mobile & le fluide qui lui ſert de milieu ont la même direction, ou ils ont des vîteſſes égales, ou l'un des deux en a plus que l'autre. Dans le premier cas, la réſiſtance du milieu eſt nulle : tel eſt un poiſſon qui ſuit exactement le courant de l'eau : tel eſt un ballon qui s'en va au gré du vent; ni l'un ni l'autre n'éprouve aucune réſiſtance de la part du milieu. Dans le ſecond cas, celui des deux qui a le plus de vîteſſe en communique à l'autre aux dépens de celle qu'il a. Un boulet de canon, par exemple, qui part dans la direction du vent, ne trouve pas autant de réſiſtance dans l'air, qu'il en trouveroit dans un temps calme; ſa vîteſſe eſt moins retardée : mais, comme il va plus vîte que le vent, il faut toujours qu'il s'ouvre un paſſage dans ce milieu qui fuit devant lui avec trop de lenteur. Il éprouve donc une réſiſtance, mais moindre que ſi l'air étoit tranquille.

88. Ce qu'il y auroit pour nous de plus intéreſſant à connoître exactement, relativement à la réſiſtance des fluides, ce ſeroit ſur-tout celle de l'eau pour les corps qui flottent deſſus, tel qu'un bateau, un vaiſſeau, &c. Cette réſiſtance dépend, 1°. de la denſité du fluide; 2°. du volume de ce

fluide qui doit être déplacé dans un temps donné; 3°. de la vîtesse du mobile; 4°. de la figure du mobile; 5°. de la largeur & de la profondeur du canal.

89. 1°. Cette résistance dépend de la densité du fluide; plus cette densité est grande, plus la résistance est grande. L'eau de mer, ayant plus de densité que l'eau de riviere, résiste davantage.

90. 2°. Elle dépend du volume du fluide qui doit être déplacé dans un temps donné. Ce volume déplacé dépend de la surface antérieure du mobile, & de l'espace parcouru (76). Si le choc du fluide sur la surface antérieure du mobile est perpendiculaire à sa direction, la résistance est sensiblement proportionnelle à l'étendue des surfaces. Elle augmente même dans une raison un peu plus grande, que n'augmente l'étendue de la surface en largeur, pour les corps qui flottent; c'est-à-dire que si l'on double la largeur du bateau, la résistance est un peu plus que doublée; car plus cette surface est large, plus le fluide a de peine à se détourner & à se mettre de niveau: ce que prouve le *remou*, qui est alors plus considérable. Mais cette résistance augmente un peu moins que n'augmente l'étendue de la surface en profondeur; c'est-à-dire que si l'on double la profondeur du bateau, sans augmenter sa largeur, la résistance est un peu moins que doublée; parce qu'alors le *remou*, qui se fait tout à la surface du fluide, est

moindre. En général, dans la pratique, on peut ſuppoſer, ſans crainte d'erreur ſenſible, que *la réſiſtance perpendiculaire & directe d'une ſurface plane, qui ſe meut parallélement à elle-même dans un fluide indéfini, eſt égale au poids d'une colonne du même fluide, laquelle auroit pour baſe la ſurface choquée; & pour hauteur, celle qui eſt due à la vîteſſe avec laquelle ſe fait la percuſſion.*

Mais ſi deux plans différens ſe meuvent tous deux parallélement à eux-mêmes, dans le même fluide avec des vîteſſes différentes, *les réſiſtances du fluide ſeront entre elles comme les produits de ces plans, par les quarrés de leurs vîteſſes.*

Si les fluides dans leſquels ces deux plans ſe meuvent, n'étoient pas de la même eſpece, la raiſon de leurs denſités devroit entrer dans le calcul. Alors *les réſiſtances ſeroient en raiſon compoſée des plans, des denſités des fluides, & des quarrés des vîteſſes de ces plans.* Il ne faut pas manquer de faire ainſi le calcul, lorſqu'il s'agit de comparer la réſiſtance d'un fluide à celle d'un autre fluide de denſité différente. Par exemple, en ſuppoſant des plans de même étendue, & ſe mouvant avec la même vîteſſe, la réſiſtance de l'eau eſt à celle de l'air, à très-peu de choſe près, comme $811\frac{1}{2}$ eſt à 1; c'eſt-à-dire, dans le rapport des denſités de ces deux fluides.

Si les deux fluides étoient eux-mêmes en mouvement, soit en même sens, soit en sens contraire du mouvement des plans, *les résistances seroient entre elles comme les produits des plans par les quarrés des différences ou des sommes des vîtesses des fluides & des plans.*

91. Dans le choc oblique, la regle établie est que *les résistances sont en raison du quarré du sinus de l'angle d'incidence du fluide sur le plan.* Mais cette théorie s'éloigne beaucoup de la pratique, quand les angles sont fort petits; & l'expérience prouve que la résistance est beaucoup plus grande que ne la donne la théorie. Ainsi cette théorie ne peut pas déterminer exactement les résistances qui proviennent des chocs obliques, même quand on introduiroit, au lieu du quarré, toute autre puissance du sinus de l'angle d'incidence. La fonction générale du temps, de l'espace, de la surface & du sinus de l'angle d'incidence, qui devroit être propre à représenter la résistance dans tous les cas, est un objet de recherche très-difficile, & bien digne de l'attention des Géometres. Cette théorie ne peut pas non plus être employée pour trouver le solide de la moindre résistance; ce qui feroit pourtant un grand avantage pour la construction des vaisseaux, & ce qui feroit très-propre à les rendre les meilleurs voiliers possibles.

Si l'on veut comparer la résistance du choc perpendiculaire à celle du choc oblique dans le même fluide, supposons que le fluide X frappe perpendiculairement le plan A en repos, & que le fluide Y frappe obliquement le plan B, aussi en repos; alors la résistance contre le plan A sera à la résistance contre le plan B, comme le produit du plan A par le quarré de la vîtesse du fluide X & par le quarré du sinus total, est au produit du plan B par le quarré de la vîtesse du fluide Y & par le quarré du sinus de l'angle d'incidence du fluide Y sur le plan B.

92. A l'égard de la tenacité de l'eau & de la cohésion de ses parties, ainsi que du frottement qu'elle cause; cette force doit être regardée comme infiniment petite par rapport à la résistance qui vient de l'inertie (85). Cette tenacité & ce frottement ne pourroient devenir sensibles, que dans le cas extraordinaire, où le vaisseau auroit une longueur excessive par rapport à sa largeur.

93. 3°. La résistance des fluides dépend de la vîtesse du mobile. Cette résistance suit à peu près la raison du quarré des vîtesses (83). A la rigueur, elle augmente en plus grande raison que le quarré de la vîtesse, à cause que le fluide ne fuit pas assez vîte devant le mobile; ce que prouve le *remou*; mais la différence n'est pas grande.

94. 4°. La figure du vaisseau contribue beaucoup

à la résistance du fluide sur lequel il flotte. La plus forte résistance vient du choc direct & perpendiculaire (90). Le choc oblique la diminue (91) ; & d'autant plus, que l'angle de la proue est plus aigu ; car plus cet angle est aigu, plus le sinus de l'angle d'incidence du fluide est petit. Mais cet angle très-aigu est incommode ; il donneroit beaucoup de longueur au vaisseau, & peu d'emplacement dans l'intérieur.

95. 5°. La résistance du fluide dépend de la largeur & de la profondeur du canal. Plus les canaux sont étroits & peu profonds, plus la résistance est grande ; parce que le fluide, poussé par le bateau, a d'autant moins la liberté de passer de l'avant à l'arriere. La différence peut aller très-loin ; la résistance peut être double ou même triple. Il est donc essentiel de donner aux canaux de navigation le plus de largeur & de profondeur qu'il est possible, sans se jeter néanmoins dans une dépense superflue.

On doit éviter aussi, à moins qu'on n'y soit forcé par des circonstances locales, de construire des canaux souterreins ; car, pour leur donner les dimensions requises, ils couteroient des sommes énormes, soit pour l'extraction des terres, soit pour la construction des voûtes, qui sont presque toujours nécessaires.

Résistance des Frottemens.

96. On appelle *frottement*, le passage d'une surface d'un corps sur celle d'un autre corps. Toutes les fois que deux surfaces glissent l'une sur l'autre, il y a donc frottement, lequel oppose une résistance; parce que ces surfaces, quelque polies qu'elles nous paroissent, ne le sont jamais parfaitement: ce sont toujours des assemblages de petites éminences & de petites cavités. Je n'en excepte pas même la surface polie d'un diamant; car cette surface a été polie avec quelques poudres, qui l'ont sillonnée: ces sillons sont, à la vérité, tellement petits, que nos yeux ne les apperçoivent pas; mais ils n'existent pas moins. Lors donc que deux surfaces se touchent, les éminences de l'une entrent dans les cavités de l'autre; & pour les faire glisser l'une sur l'autre, il faut ou arracher les parties engagées, ou soulever le corps pour les dégager, & par conséquent vaincre le poids de ce corps. Or il faut une force réelle, ou pour vaincre le poids du corps, ou pour en arracher les parties engagées; & ce qui résiste à cette force, est ce qu'on appelle *frottement*. Les frottemens sont donc une résistance réelle au mouvement des corps.

97. La surface d'un corps peut parcourir la surface d'un autre corps de deux manieres, ou simplement en glissant, ou en roulant. Dans le

premier cas, il y a application ſucceſſive des mêmes parties d'une ſurface à différentes parties de l'autre; comme lorſqu'on fait gliſſer une planche ſur une table. Dans le ſecond cas, il y a application ſucceſſive des différentes parties d'une ſurface à différentes parties de l'autre; comme lorſqu'on fait rouler une boule ou une roue ſur un terrein. De là on diſtingue deux ſortes de frottemens. Lorſque les corps gliſſent l'un ſur l'autre, le frottement ſe nomme celui de la premiere eſpece; lorſque l'un roule ſur l'autre, le frottement ſe nomme celui de la ſeconde eſpece. Ces deux eſpeces de frottemens oppoſent une réſiſtance, & ralentiſſent le mouvement des corps; mais la réſiſtance de celui de la ſeconde eſpece eſt moindre que celle de l'autre, & produit moins d'effet; car pour vaincre la réſiſtance du frottement de la premiere eſpece, il faut, ou ſoulever le corps gliſſant, ou en rompre les parties engagées; au lieu que, dans celui de la ſeconde eſpece, les parties engagées du corps roulant ſe quittent & ſe déſengrenent à peu près comme le font les dents de deux roues qui roulent l'une ſur l'autre. C'eſt pourquoi, lorſqu'on ſe trouve dans une deſcente rapide avec une voiture, pour en ralentir la vîteſſe & l'empêcher de ſe précipiter, on enraye une des roues. Par ce moyen, on change le frottement de la ſeconde eſpece en celui de la premiere, qui réſiſte davantage.

98. Il y a encore plus de difficultés à évaluer la résistance des frottemens, que celle des milieux. Le passage d'une surface sur une autre fait une résistance d'autant plus grande, & ce passage est d'autant plus retardé, que ces surfaces ont plus d'inégalités ; mais ce plus ou ce moins d'inégalités varie à l'infini, & est très-difficile à connoître. Les autres qualités, savoir, la grandeur des surfaces frottantes, la force qui presse ces surfaces l'une sur l'autre, la vîtesse avec laquelle elles se meuvent, sont plus faciles à estimer ; mais comme leur valeur est relative à l'état actuel des surfaces frottantes, & que cet état est peu connu, il reste toujours de l'incertitude. Il faut donc le plus souvent se contenter d'un à peu près. Il est assez d'usage de supposer, dans les grandes machines, un tiers de la force employée pour vaincre la résistance des frottemens ; & quelquefois ce tiers ne suffit pas.

99. M. *Amontons* (*Mém. de l'Acad. des Scienc. année* 1699, *p.* 206) a pensé que, pour évaluer les frottemens, on ne devoit pas avoir égard à la grandeur des surfaces frottantes, mais seulement à la force qui presse ces surfaces les unes contre les autres ; laquelle force n'est souvent que le poids des corps, qu'il faut soulever pour les faire glisser ; & que par conséquent, lorsqu'une piece de bois, par exemple, a plus d'épaisseur dans un sens que dans l'autre, il est indifférent de traîner cette piece de

bois sur sa grande ou sa petite surface ; que dans les deux cas la résistance des frottemens est égale, parce que le poids de cette piece demeure toujours le même, & que sa charge est distribuée à toutes les parties de la surface frottante ; de sorte que, si cette surface frottante est la plus grande, il y a, à la vérité, plus de parties engagées, mais elles le sont moins que s'il y en avoit un moindre nombre, mais qui seroient plus chargées. M. *Amontons* a soutenu & appuyé son opinion sur des expériences ingénieuses & des raisonnemens spécieux. Cependant l'expérience prouve aussi qu'il y a des cas où il faut compter pour quelque chose la grandeur des surfaces, quoique l'augmentation des surfaces frottantes augmente beaucoup moins la résistance des frottemens, que ne le fait l'augmentation des pressions. Et en effet, la premiere cause des frottemens est l'inégalité des surfaces (96) : en augmentant la grandeur de ces surfaces, on fait croître le nombre de ces inégalités ; puisqu'on augmente la cause, l'effet doit être augmenté.

100. Outre la pression & la grandeur des surfaces, on doit encore faire entrer la vîtesse dans l'évaluation des frottemens ; car si l'on augmente la vîtesse, il est évident que, la surface frottante faisant plus de chemin dans un temps déterminé, ses éminences seront, pendant ce temps, ou pliées, ou rompues, ou dégagées, en plus grand

nombre, & par conséquent le corps soulevé plus fréquemment, ce qui augmente la résistance. Il est pourtant vrai que cette augmentation de résistance, qui vient de la vîtesse avec laquelle on fait frotter les surfaces, a ses bornes, au delà desquelles on peut accélérer la vîtesse, sans que les frottemens en deviennent plus considérables : de sorte qu'on peut dire en quelque façon, qu'en augmentant la cause, on n'augmente plus son effet ; ce qui a besoin d'être expliqué. Pour cela, supposons

Fig. 6. que DE & FG (*fig. 6.*) représentent deux surfaces de corps durs, dont les inégalités presque insensibles (quoiqu'ici représentées en grand), sont engrenées les unes dans les autres ; que la pression qui les joint agisse dans la direction AB, perpendiculaire à celle qu'ont les deux corps, quand ils glissent l'un sur l'autre. Il est clair que le corps DE ne peut se mouvoir suivant la direction BC, à moins que ses parties saillantes *e*, *f*, *g*, *h*, ne se dégagent des creux dans lesquels elles sont enfoncées ; ce qui ne peut se faire, qu'autant que le corps entier DE sera soulevé contre l'effort de la pression. Si cette pression fait retomber ces parties saillantes dans les creux suivans, de sorte que *e*, sortant de 1, retombe en 2, ensuite en 3, &c., il est clair que l'effort qu'il faudra faire pour soulever le corps DE, se répétera autant de fois qu'il y aura d'éminences & de creux ; & plus le corps DE

fera de chemin dans un temps donné, plus ces foulévemens & ces rechûtes feront fréquens. Mais fi la vîteffe eft affez grande pour que les éminences, une fois dégagées, paffent plufieurs cavités fans y retomber ; que la partie *e*, par exemple, ayant été dégagée du creux 1, au lieu de retomber dans le 2, foit tranfportée jufqu'au 3 ou jufqu'au 4, on conçoit aifément que le corps frottant DE pourra parcourir 2 ou 3 fois autant de furface fur FG, fans que fes éminences y foient plus fréquemment engagées ; auquel cas la réfiftance du frottement ne fera pas augmentée, quoique la vîteffe le foit.

Nous avons dit (98) qu'il étoit très-difficile d'évaluer au jufte la réfiftance des frottemens. Voyons du moins ce que l'expérience prouve de certain, relativement à cette réfiftance.

101. 1°. *Le frottement de la premiere efpece caufe une réfiftance beaucoup plus grande que celle que caufe le frottement de la feconde efpece* (97). Pour vous en affurer, faites l'expérience fuivante.

Expérience. Mettez fur une table un bloc de marbre, poli ou non, pefant 50 ou 60 livres ; effayez de le pouffer avec la main, vous y trouverez une très-grande réfiftance. Ici c'eft un frottement de la premiere efpece (97). Mettez enfuite, entre la table & le bloc de marbre, deux cylindres

ou rouleaux de bois, ils changeront le frottement de la premiere espece en celui de la seconde (97) : avec un très-petit effort vous ferez avancer le bloc de marbre. Donc, &c. C'est ainsi qu'on fait avancer sur le terrein de grosses pierres, qu'on ne remueroit que difficilement sans cela.

Tous les frottemens tendent donc à détruire le mouvement des corps ; mais celui de la premiere espece a des effets beaucoup plus considérables que celui de la seconde espece. Ces effets du frottement se rencontrent par-tout ; ils sont la principale cause de l'altération & du dépérissement de nos habits, de nos meubles, &c. Les fers des chevaux ne s'usent-ils pas en frottant sur le pavé, ainsi que les bandes des roues ? C'est principalement ce qui fournit cette grande quantité de fer, qui se mêle & qui noircit les boues des grandes villes, où il passe beaucoup de chevaux & de voitures.

102. Si les frottemens nous sont souvent nuisibles, ils nous sont quelquefois utiles ; les Arts savent les tourner à leur avantage. Une lime n'agit que par son frottement augmenté par la pression. C'est une surface garnie d'aspérités qui s'insinuent entre les parties de la piece qu'on travaille, & qui les arrachent. On peut dire la même chose des meules & autres pierres à aiguiser.

103. Lorsque la résistance des frottemens est trop

trop grande, on la diminue beaucoup en enduisant les surfaces frottantes de quelque matiere grasse; comme lorsqu'on met du vieux oing entre l'essieu & le moyeu d'une roue. Cela produit deux effets qui contribuent à la diminution de la résistance du frottement. 1°. Cette matiere grasse remplit en partie les creux, & par-là rend moindres les inégalités des surfaces. 2°. Ce qui demeure de trop de cette matiere grasse, & qui ne se loge pas dans les creux, fait l'équivalent des rouleaux dont nous avons parlé ci-dessus (101), & change le frottement de la premiere espece en celui de la seconde.

104. 2°. *La résistance des frottemens augmente par l'augmentation des surfaces frottantes*, comme le prouve l'expérience suivante.

EXPÉRIENCE. Mettez sur une grande table, une piece de bois qui ait plus de largeur que d'épaisseur; qui ait, par exemple, 6 pouces de largeur & 3 pouces d'épaisseur. Moyennant un anneau fixé à un de ses bouts, attachez-y une corde que vous ferez passer sur une poulie fixée sur le bord de la table, & que la corde porte un bassin de balance. Mettez dans ce bassin autant de poids qu'il en faudra pour faire avancer la piece de bois, frottant, 1°. sur sa grande face; 2°. sur sa petite. Vous verrez qu'il faudra un peu plus de poids dans le premier cas, que dans le second. Donc, &c.

En effet, les inégalités des surfaces sont la premiere cause des frottemens (96) : en augmentant l'étendue des surfaces frottantes, on fait croître le nombre de ces inégalités. On augmente donc la cause. L'effet doit être augmenté. Mais cet effet n'est pas augmenté autant que l'étendue de la surface ; car une surface double ne cause pas une résistance double. Il arrive même quelquefois que l'augmentation de cet effet n'est pas sensible, comme dans certaines petites machines bien travaillées ; mais il n'en est pas de même dans les grandes machines, où souvent les pieces ne sont que dégrossies.

105. L'augmentation de résistance à raison des surfaces frottantes, a lieu aussi pour les fluides : leur vîtesse est d'autant plus retardée, que les surfaces frottantes ont plus d'étendue. L'expérience fait voir que les jets d'eau (qui ne s'élevent qu'en vertu de la vîtesse que l'eau a acquise en descendant) s'élevent d'autant moins, que les tuyaux sont plus petits ; parce qu'alors la surface frottante est proportionnellement plus grande : car la surface d'un gros tuyau, quoique plus grande que celle d'un petit, est cependant moindre relativement à sa capacité. Supposons deux tuyaux cylindriques, dont l'un ait 2 pouces de diametre, & l'autre 1 pouce seulement : il est démontré que la surface du gros n'est que double de celle du petit, tandis

que sa capacité est quadruple : il faudroit donc quatre petits tuyaux pour contenir toute l'eau que tient le gros ; & les surfaces de ces quatre tuyaux, prises ensemble, seroient doubles de la surface du gros. Donc plus les tuyaux sont menus, plus les surfaces frottantes sont grandes, relativement au volume d'eau qui y passe. C'est par la même raison que les rivieres coulent plus lentement dans les eaux basses : les surfaces frottantes sont alors plus grandes relativement au volume d'eau. Car supposons AEFB (*fig.* 7.) la coupe du lit d'une riviere, & qu'il n'y ait de l'eau qu'à la hauteur CD, les surfaces frottantes sont le fond EF, & les deux côtés CE & DF : doublons maintenant la quantité d'eau en la supposant à la hauteur AB ; les surfaces frottantes ne seront augmentées que des deux côtés AC & BD : les surfaces latérales frottantes seront doublées ; mais le fond ne le sera pas. *Fig.* 7.

106. 3°. *La résistance des frottemens augmente par l'augmentation de la pression.*

Experience. Servez-vous de l'appareil de l'expérience précédente (104). Après avoir éprouvé quel est le poids nécessaire pour faire avancer la piece de bois, frottant sur sa face de 6 pouces, chargez cette piece de bois d'un poids égal au sien ; vous aurez par-là doublé la pression de la piece sur la table. Pour la faire avancer, dans ce second cas,

il faudra un poids beaucoup plus considérable que dans le premier. Donc, &c. La raison de cela est que les parties s'engagent d'autant plus profondément que la pression est plus grande : elles résistent donc davantage à la force qui tend à les dégager.

107. 4°. *A proportions égales, la résistance des frottemens augmente beaucoup plus par l'augmentation de la pression, que par l'augmentation des surfaces frottantes*; c'est-à-dire que cette résistance est beaucoup plus augmentée en doublant ou triplant la pression, qu'en doublant ou triplant l'étendue des surfaces frottantes.

Ceci est prouvé par ce qui précede. On a vu (104) qu'une surface double n'oppose qu'une résistance fort peu supérieure à celle qu'oppose une surface simple; & l'on a vu (106) qu'une pression double produit une résistance beaucoup plus considérable. Donc, &c.

108. Voilà tout ce que l'expérience nous apprend, relativement à la résistance des frottemens. Il est donc très-difficile, comme nous l'avons déjà dit (98), peut-être même impossible, d'en déterminer au juste la valeur; parce que cette valeur dépend toujours de l'état actuel des surfaces frottantes, lequel n'est jamais assez connu : cependant on approche assez du vrai, si l'on évalue la résistance du frottement de la premiere espece à $\frac{1}{3}$ de la pression.

109. Mais si l'on avoit un intérêt réel à connoître exactement la valeur de la résistance du frottement de deux pieces déterminées, on pourroit la connoître au juste de la maniere suivante. Nous ferons voir dans la suite (543) que la force nécessaire pour soutenir un corps sur un plan incliné, qui seroit parfaitement poli, & qui n'occasionneroit aucun frottement; que cette force, dis-je, est au poids de ce corps, comme la hauteur du plan est à sa longueur. Eh bien, de l'un de ces deux corps dont vous voulez connoître la valeur du frottement, faites un plan incliné; placez l'autre dessus, & donnez à ce plan une inclinaison telle que le frottement du plan & la pesanteur du corps qui est dessus soient précisément en équilibre. Dans ce cas-là, la résistance du frottement de ces deux corps sera au poids du corps placé sur le plan, comme la hauteur du plan est à sa longueur. Si, par exemple, le plan a 10 pieds de longueur & 4 de hauteur, la résistance du frottement sera égale à quatre dixiemes du poids du corps.

110. De tout ce que nous venons de dire, de la résistance des milieux & de celle des frottemens, on doit conclure que, dans l'état naturel des choses, il ne peut y avoir aucun mouvement mécanique inaltérable; puisque ces deux résistances, qui sont inévitables, sont des causes qui exigent à chaque

instant que les corps emploient, pour les vaincre, une partie de leur mouvement. Quelque grande que soit la quantité qu'on leur en aura donnée, comme, par cette raison, elle ira toujours en diminuant, il arrivera l'instant où il n'en restera plus. Le mouvement perpétuel mécanique est donc démontré impossible ; & ceux qui s'obstinent à le chercher, & qui multiplient les frais dans cette vûe, perdent leur temps, leurs peines & leurs dépenses, & prouvent complétement leur ineptie.

II *Loix du Mouvement simple.*

111. *Les changemens qui arrivent au mouvement d'un corps, sont toujours proportionnels à la cause qui les produit.*

Une force, quand elle agit, ne peut produire que ce dont elle est capable ; & elle produit toujours tout ce dont elle est capable, à moins que quelque autre force ne s'y oppose. L'effet sera donc toujours proportionnel à la cause. Cela est trop simple & trop clair, pour mériter une plus ample explication.

III *Loix du Mouvement simple.*

112. *La réaction est toujours égale à l'action ou à la compression.*

Quand un corps en mouvement, ou qui tend à se mouvoir, agit sur un autre corps, il le

comprime; & ce dernier exerce réciproquement sur le premier une compression égale. Par exemple, si j'appuie ma main sur un bassin vide de balance, & que je tienne soulevées 10 livres de plomb que je suppose dans l'autre bassin, ma main est autant comprimée que si je recevois sur elle les 10 livres de plomb pour les soutenir. La réaction de ces 10 livres de plomb contre ma main est donc égale à l'action de ma main.

Mais, dira-t-on, si la réaction étoit toujours égale à l'action, jamais un corps n'en pourroit mouvoir un autre: ces deux actions égales & opposées se détruiroient mutuellement; de là naîtroit l'équilibre. Car comment un corps peut-il en faire avancer un autre, si ce second pousse le premier en sens contraire avec une force égale à celle que le premier emploie à le pousser lui-même? On doit répondre à cela, que, lorsqu'un corps en pousse un autre, & qu'il le fait avancer, le premier n'emploie qu'une partie de sa force à vaincre la résistance que lui oppose le second, & qu'après avoir surmonté cette résistance, il lui reste encore une autre partie de sa force qu'il peut employer à faire avancer le corps. Comme lorsque, dans l'exemple ci-dessus, je soutiens les 10 livres avec ma main; ma main n'emploie qu'un effort de 10 livres pour les soutenir: & si je veux les soulever, j'emploie la force qui me reste. Ainsi, quoique les forces soient

inégales, l'action & la réaction sont toujours égales. La raison de cette égalité de l'action & de la réaction dans tous les cas, est qu'un corps ne sçauroit employer un degré de force à surmonter la résistance d'un autre corps, sans en perdre lui-même une quantité égale à celle qu'il y a employée.



CHAPITRE III.

Des causes qui changent la direction du Mouvement.

113. APRÈS avoir traité des causes, absolument inévitables dans la Nature, qui retardent à chaque instant la vîtesse des corps en mouvement, nous allons parler maintenant de celles qui en changent la direction.

Si un corps en mouvement change de direction, c'est qu'il y est forcé par un obstacle : car, suivant la premiere loi (74), il tend à persévérer dans son état. Il y a trois sortes d'obstacles qui peuvent occasionner un changement dans la direction du mouvement des corps. 1°. Un obstacle dans lequel le mobile puisse pénétrer, comme une matiere fluide dans laquelle il puisse s'ouvrir un passage. 2°. Un obstacle impénétrable & fixe, comme une matiere solide, qui oppose au mobile toute sa masse, à cause de la liaison de ses parties, & de son adhérence au terrein sur lequel il est fixé. 3°. Un obstacle, à la vérité, impénétrable au mobile, mais qui en même temps peut être déplacé par le choc.

Changement de direction occasionné par une matiere fluide; ou Réfraction.

114. Ce changement de direction, appelé *Réfraction*, est la déviation que souffre un corps qui passe obliquement d'un milieu dans un autre, plus ou moins résistant que le milieu d'où il sort; de sorte que sa nouvelle direction fait angle avec la premiere au point de contact des deux milieux, & paroît là comme brisée : d'où vient le mot *Réfraction*. Voyons quelles sont les conditions essentielles pour qu'un corps en mouvement souffre cette espece de déviation, & quelle est la cause de la réfraction des corps.

115. Si un mobile passe d'un milieu dans un autre, par exemple, de l'air dans l'eau, ou de l'eau dans l'air, ces milieux n'étant pas également pénétrables pour lui, soit par la différence de leurs densités, soit par quelque autre cause, l'un lui opposera plus ou moins de résistance que l'autre. Ce plus ou moins de résistance qu'il éprouvera de la part du nouveau milieu (que nous appellerons *milieu réfringent*), ne manquera pas de lui faire quitter sa premiere direction, pourvu qu'il y entre obliquement; & c'est-là ce qu'on appelle *Réfraction*. Supposons un grand bassin plein d'eau, dont
Fig. 8. la coupe soit représentée par ABDC (*fig.* 8). On ne peut diriger vers la surface AC de l'eau

un corps que de deux manieres : ou par une perpendiculaire au plan qui sépare les deux milieux, comme PF, ou par une ligne plus ou moins oblique à ce même plan, telle qu'une ligne prise entre PF & CF, pour aboutir au point F : car si le corps suivoit la ligne CF, ou toute autre ligne qui lui fût parallele, il est évident qu'il n'entreroit jamais dans l'eau, & que par conséquent il ne changeroit point de milieu. Si un corps sphérique E vient à la surface de l'eau par la perpendiculaire PF, l'expérience prouve qu'il continue de se mouvoir par F*p*, & par conséquent qu'il ne souffre aucune réfraction. Mais s'il suit une ligne oblique, comme *e*F, si-tôt qu'il est parvenu en F, l'eau, qu'il commence à toucher, devient pour lui un milieu réfringent ; & l'expérience prouve encore qu'au lieu de continuer sa route en ligne droite, & d'aller de F en G, il reçoit une nouvelle direction, qui fait angle avec la premiere au point F, & qui le porte plus haut que le point G, comme, par exemple, de F en H, en l'éloignant de la perpendiculaire F*p*. Ce mobile souffre donc, dans ce cas-là, une réfraction, laquelle l'éloigne de la perpendiculaire au plan qui sépare les deux milieux.

116. La réfraction se feroit en sens contraire, si le mobile passoit de l'eau dans l'air, ou en général d'un milieu dense dans un plus rare, d'un milieu plus résistant dans un moins résistant. Si,

par exemple, il avoit décrit dans l'eau la ligne HF, il ne continueroit point dans l'air son mouvement en ligne droite par la ligne FK; la réfraction qu'il souffriroit au point F, lui feroit prendre une nouvelle direction, & le porteroit à un point plus élevé que le point K, comme, par exemple, en *e*; ce qui l'approcheroit de la perpendiculaire PF.

117. La réfraction dépend donc de deux conditions absolument essentielles, & sans lesquelles elle n'a pas lieu. La premiere est le passage du mobile d'un milieu dans un autre plus ou moins résistant; la seconde est l'obliquité d'incidence de la part du mobile. Si donc le mobile passe obliquement d'un milieu moins résistant dans un plus résistant, il se réfracte en s'éloignant de la perpendiculaire imaginée au plan qui sépare les deux milieux, en faisant son angle de réfraction plus grand que son angle d'incidence. Mais si le mobile passe obliquement d'un milieu plus résistant dans un moins résistant, il se réfracte en s'approchant de la perpendiculaire imaginée au plan qui sépare les deux milieux; en un mot, en faisant son angle de réfraction plus petit que son angle d'incidence.

Voici les faits tels que l'expérience les donne: voyons-en maintenant les raisons.

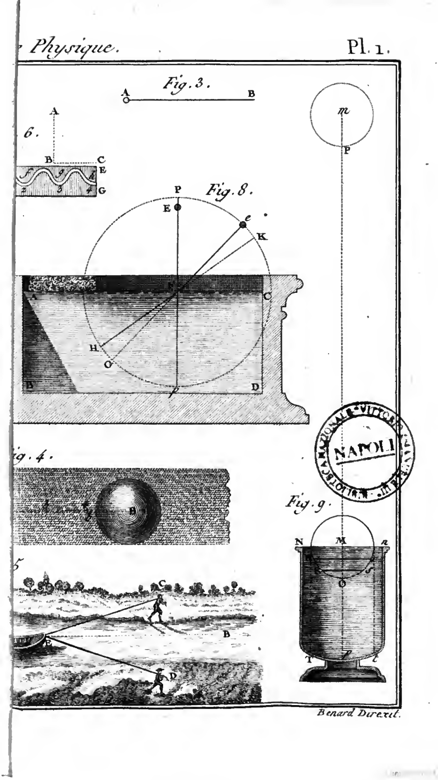
118. Nous avons dit (115) que, quoiqu'il y ait changement de milieu, s'il n'y a point d'obliquité d'incidence, si le mobile E arrive par la ligne PF

perpendiculaire à la surface AC du milieu réfringent, il n'y a point de réfraction. En voici la raison. Supposons que le mobile M (*fig.* 9.) arrive du point *m* au vase plein d'eau NT*tn* par la ligne P*p* perpendiculaire à la surface N*n* de l'eau. Ce mobile se trouve successivement dans l'air & dans l'eau, & il n'éprouve de résistance de la part de ces milieux, que sur son hémisphere inférieur NO*n*. Tant qu'il est dans l'air (que nous supposons en repos & d'une densité uniforme), les résistances qu'il éprouve d'une part sont compensées par celles qu'il éprouve de l'autre; sa vîtesse est également retardée dans tous ses points: son centre ne doit donc point se détourner de la ligne M*m*. On peut dire la même chose quand on considere le mobile entiérement plongé dans l'eau; seulement la résistance de ce dernier milieu est plus grande que celle du premier; elle retarde davantage la vîtesse du mobile; mais elle ne le détourne point de sa premiere direction, puisqu'elle agit également de toutes parts. On peut encore appliquer le même raisonnement à son passage de l'air dans l'eau: car quand le mobile commence à se plonger, l'eau résiste directement en O, dans une direction qui passe par le centre M: en se plongeant jusqu'en S*s*, les résistances qu'il éprouve de S en O, sont compensées par celles qu'il éprouve de O en *s*: de même, en se plongeant de plus en

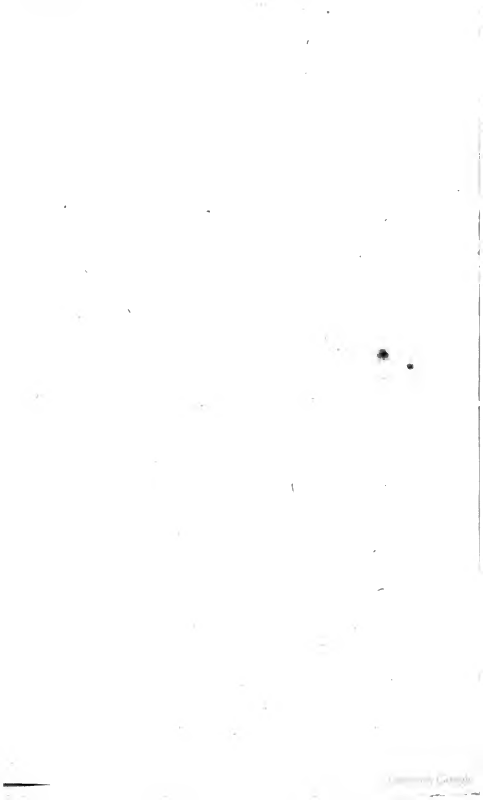
Fig. 9.

plus, SR, RN, & leurs correſpondantes *sr*, *rn* participent ſucceſſivement & également à la réſiſtance du nouveau milieu. Ces réſiſtances, de part & d'autre, ſe font donc équilibre; & cet équilibre maintient toujours le centre M dans la ligne P*p*. Ce qui prouve bien que l'obliquité d'incidence de la part du mobile eſt une condition abſolument eſſentielle pour la réfraction; puiſque, ſans elle, le mobile continue ſon mouvement dans ſa premiere direction, quoiqu'il paſſe d'un milieu dans un autre d'une réſiſtance différente.

119. Il n'en eſt pas de même quand le mobile ſe préſente obliquement au plan qui ſépare les deux milieux (115). Suppoſons le mobile M
Fig. 10. (*fig.* 10.) qui arrive du point *m* à la ſurface de l'eau dans la direction ST oblique à cette ſurface. Tant qu'il eſt tout entier dans l'air, comme en *m*, les obſtacles qui ſe préſentent à ſon hémiſphere antérieur *nop*, agiſſent également de tous les côtés, comme nous l'avons dit ci-deſſus (118). Cette égalité entretient le mobile dans la direction *m*O; mais quand il paſſe de l'air dans l'eau, ce même hémiſphere NOP, pendant tout le temps de ſon immerſion, rencontre des obſtacles plus difficiles à vaincre d'un côté que de l'autre: car le point R venant à toucher l'eau, éprouve plus de réſiſtance que n'en éprouve ſon correſpondant Q, qui ne rencontre encore que de l'air. Or un



Benard Direxit.



mobile se porte toujours du côté où il trouve moins de résistance. L'équilibre étant rompu entre les obstacles de part & d'autre, le centre M se porte du côté des plus foibles, & commence à s'écarter de sa premiere direction ST. La vîtesse du mobile étant ralentie de plus en plus par son immersion dans l'eau, & le mobile éprouvant toujours plus de résistance dans la partie ORP qu'il n'en éprouve dans la partie correspondante OQN, jusqu'à ce que son hémisphere antérieur NOP soit entiérement plongé, son centre M abandonne de plus en plus sa premiere direction, & descend par une petite courbe MV, dont le dernier élément V commence la nouvelle direction VX; ce qui l'éloigne de la perpendiculaire AB, imaginée à la surface de l'eau, & rend l'angle de réfraction plus grand que l'angle d'incidence.

120. Si le milieu Y dans lequel se meut d'abord le mobile, étoit plus résistant que le milieu Z dans lequel il passe (116), le mobile M éprouveroit alors une moindre résistance dans la partie ORP que dans la partie OQN; la courbe MV seroit tournée en sens contraire; ce qui rapprocheroit la nouvelle direction de la perpendiculaire AB, & rendroit l'angle de réfraction plus petit que l'angle d'incidence.

121. La réfraction est susceptible de plus & de moins; la différence qu'elle produit entre les

angles d'incidence & de réfraction, peut être plus ou moins grande, suivant les circonstances. Ce plus ou moins dépend, 1°. du degré d'obliquité avec lequel le mobile arrive au milieu réfringent; 2°. du degré de densité de ce milieu réfringent; 3°. de la grandeur du mobile; 4°. de la vîtesse du mobile.

122. 1°. Nous avons vu (118) que la réfraction est nulle, lorsque la direction du mobile est perpendiculaire à la surface du milieu réfringent : elle commence avec l'obliquité d'incidence (119), & elle augmente avec elle, & proportionnellement à elle. Car, 1°. plus l'obliquité est grande, plus la réfraction est considérable. Si le mobile, au lieu de suivre la direction ST pour arriver au milieu réfringent, suivoit la direction *st*, plus oblique que la premiere, il souffriroit une plus grande réfraction; car, dans ce cas-là, la partie ORP de l'hémisphere antérieur seroit toute entiere plongée dans l'eau, tandis que la partie OQN seroit encore toute entiere dans l'air. La différence entre les résistances sur les parties correspondantes seroit donc plus grande; donc la réfraction augmente avec l'obliquité d'incidence. 2°. Elle augmente aussi proportionnellement à cette obliquité; car si, dans différens cas, nous supposons le même mobile & les mêmes milieux, quels que soient les différens degrés d'obliquité avec lesquels le mobile arrive

arrive au milieu réfringent, il y aura, dans tous les cas, le même rapport entre les angles d'incidence & de réfraction. Par exemple, dans les deux incidences différemment obliques AC & BF (*fig.* 11.), si l'on compare les angles d'incidence ACP & BFD avec les angles de réfraction *a*C*p* & *b*F*d*, lesquels se mesurent par les lignes PA, DB, *ap*, *bd*, qui en sont les sinus, on verra que, si PA est à *ap* comme 2 est à 3, les deux lignes semblables DB & *bd*, qui représentent le cas d'une réfraction plus grande, sont aussi dans le même rapport entre elles : donc, toutes choses égales d'ailleurs, la réfraction augmente proportionnellement à l'obliquité d'incidence. *Fig.* 11.

123. Quand l'incidence est très-oblique, il arrive souvent que le mobile, au lieu de se plonger dans le milieu réfringent, se réfléchit, comme s'il tomboit sur un plan solide. C'est ce qui arrive à un boulet de canon tiré très-obliquement à la surface de l'eau : dans ce cas-là, l'eau lui refuse assez long-temps le passage pour lui donner lieu de continuer son mouvement dans l'air, & il se réfléchit de dessus l'eau, comme il le feroit de dessus un plan solide, & par les mêmes raisons (132). Cela fait voir qu'on ne seroit pas en sûreté, si l'on se trouvoit dans la direction du mouvement réfléchi d'une balle ou d'un boulet qui seroit tiré très-obliquement à la surface de l'eau.

124. 2°. La grandeur de la réfraction dépend encore de la densité plus ou moins grande du milieu réfringent, toutes choses étant d'ailleurs égales. Supposons le même corps lancé avec le même degré d'obliquité, successivement vers différens milieux de densités différentes : celui de ces milieux qui aura le plus de densité, occasionnera la plus grande réfraction. Car la réfraction est causée, comme nous l'avons prouvé ci-dessus (119), par la différence de la résistance des deux milieux, chacun sur la portion de la surface antérieure du mobile qui y répond : or cette différence est d'autant plus grande, que le milieu réfringent a plus de densité, celle de l'autre demeurant la même : donc, &c.

125. 3°. La grandeur de la réfraction dépend aussi de la grandeur du mobile ; car, comme nous venons de le dire (124), la réfraction est causée par la différence de la résistance des deux milieux, chacun sur la portion de la surface antérieure du mobile qui y répond. Or la résistance du milieu réfringent, de l'eau, par exemple, est d'autant plus grande, que ses parties choquées sont en plus grand nombre ; & elles sont en nombre d'autant plus grand, que le mobile a plus de volume. Un mobile, par exemple, sphérique, arrivant à la surface de l'eau, ne la touche pas par un seul point ; c'est toujours par un segment ;

& ce segment heurte un nombre de parties d'autant plus grand, qu'il fait lui-même partie d'une sphere plus grande, qu'il a plus d'étendue avec moins de convexité : il éprouve donc plus de résistance de la part de l'eau ; ce qui occasionne une plus grande réfraction. En effet, comme c'est une plus grande résistance de la part du milieu réfringent qui fait que, dans certains cas, le mobile a un mouvement réfléchi, & non pas réfracté ; aussi M. l'*Abbé Nollet* a-t-il remarqué qu'une balle de 6 lignes de diametre entroit dans l'eau, quand sa direction faisoit un angle de 6 degrés avec la surface de l'eau, tandis qu'une plus grosse, à pareille incidence, étoit réfléchie ; & un boulet de canon l'est sûrement sous un angle beaucoup plus ouvert : ce qui prouve bien que la résistance devient plus grande, à mesure que la grandeur du mobile augmente.

126. 4°. On doit compter encore que la vîtesse avec laquelle le mobile arrive à la surface du milieu réfringent, influe sur la grandeur de la réfraction. Car la résistance des milieux n'augmente pas seulement comme la vîtesse avec laquelle on les frappe, mais à peu près comme le quarré de cette vîtesse (83). La résistance du milieu réfringent est donc plus grande, quand il est frappé avec plus de vîtesse ; ce qui augmente la réfraction.

127. Il ſuit de tout ce que nous venons de dire, que, pour meſurer la réfraction d'un corps, il faut avoir égard à quatre choſes : 1°. au degré d'obliquité avec lequel le mobile arrive au milieu réfringent ; 2°. au degré de denſité de ce milieu ; 3°. à la grandeur du mobile ; 4°. à la vîteſſe avec laquelle il ſe meut.

Changement de direction occaſionné par un obſtacle impénétrable & fixe ; ou Réflexion.

128. Ce changement de direction eſt celui que reçoit un corps en mouvement, lorſqu'il rencontre un obſtacle impénétrable pour lui & fixe, lequel l'oblige à rebrouſſer chemin, & le fait rejaillir après le choc. La véritable cauſe de ce changement de direction eſt le reſſort des corps : ainſi, ſi les corps n'avoient point de reſſort, il n'y auroit point de réflexion. Il n'y a donc que les corps élaſtiques qui puiſſent être ſuſceptibles de ce mouvement réfléchi. Mais tous les corps élaſtiques ne le ſont pas également (32, 33); & il n'y en a aucun, ſi l'on en excepte la matiere de la lumiere & les fluides aériformes, qui le ſoit parfaitement. Cependant, pour rendre la théorie plus ſimple, nous ſuppoſerons que les corps, ou n'ont point du tout de reſſort ; ou qu'ils en ont un parfait, & par conſéquent qu'ils ſont capables d'une réaction parfaite.

129. Si les corps n'ont point de reſſort, il n'y a point de mouvement réfléchi. Faites tomber un corps ſur de la terre molle; ce corps y fera un enfoncement, & perdra tout ſon mouvement. Quand il commence à toucher la terre molle, il a une certaine quantité de mouvement acquis par ſa chûte : c'eſt aux dépens de ce mouvement qu'il déplace une portion de la terre. Il ne doit donc ceſſer de ſe mouvoir que quand les parties, qu'il a rencontrées, ont été portées auſſi loin que l'exigeoit la valeur de ſon effort; parce qu'un corps en mouvement ne peut être réduit au repos que par un obſtacle dont la réſiſtance égale le produit de ſa force. Cette terre, que nous avons ſuppoſée ſans reſſort, n'a donc rien qui puiſſe rendre au mobile le mouvement qu'il a perdu en l'enfonçant : il n'y aura donc point de réflexion.

130. Les corps ſans reſſort, ou qui en ont très-peu, ſont les plus propres à rompre les efforts violens; parce qu'ils retardent par degrés la vîteſſe du mobile, & qu'ils le réduiſent au repos en cedant de plus en moins. Tous les obſtacles qui cédent ainſi, partagent l'effort du mobile, & arrêtent comme en pluſieurs fois une puiſſance qui ne manqueroit pas de les forcer, ſi ſon action étoit réunie dans un temps plus court. Une planche de chêne n'arrête pas une balle de mouſquet : un petit ſac rempli de laine ou de terre

ne manque pas de l'amortir. Un boulet de canon fait peu d'effet ſur des matelas ſuſpendus librement en l'air, tandis qu'il perceroit une muraille.

131. Si les corps ſont élaſtiques, alors il peut y avoir un mouvement réfléchi. Suppoſons donc
Fig. 12. que l'obſtacle DE (*fig.* 12) eſt un corps dont l'élaſticité eſt parfaite ; & que le corps C eſt parfaitement dur, & par conſéquent non élaſtique. Le corps C étant porté de F en A avec un certain degré de viteſſe, & dans une direction perpendiculaire à l'obſtacle DE, le frappe avec une force réſultante de ſa maſſe & de ſa viteſſe (63), & y produit l'enfoncement *d*B*e* : le point de contact A eſt, par cet effort, porté juſqu'en B : ce point A eſt le premier comprimé, parce qu'il eſt le premier touché par le mobile C ; & après lui, tous les autres points qui le ſuivent de part & d'autre, juſqu'aux points *d* & *e*, qui ſont les derniers comprimés. Cet effet n'a pas lieu dans un inſtant indiviſible ; il exige un temps fini pour être produit ; &, quoique très-court, ce temps peut être diviſé en pluſieurs inſtans. Au premier inſtant le mobile C exerce contre un très-petit eſpace de l'obſtacle qu'il rencontre, un effort qui eſt comme ſa maſſe & ſa viteſſe actuelle ; en conſéquence duquel il déplace les parties qu'il touche : ce déplacement occaſionne une réſiſtance qui détruit une portion de la viteſſe du mobile.

Ce mobile en a donc moins au second instant qu'au premier. Mais alors les parties enfoncées donnent lieu au mobile de toucher l'obstacle par une plus grande surface, d'agir sur un plus grand nombre de parties : en outre ces parties condensées par la compression qu'elles ont éprouvées au premier instant, résistent davantage ; ce qui retarde encore plus la vîtesse du mobile. Par les mêmes raisons, elle est encore plus retardée au troisieme instant, & ainsi de suite, jusqu'à ce que le mobile ait consommé tout son mouvement. On voit par-là que la vîtesse du mobile diminue par des quantités qui vont toujours en augmentant. Quand le mobile C a consommé toute sa force, les parties enfoncées *dBe*, & que nous supposons parfaitement élastiques, n'étant plus retenues, se rétablissent dans leur premier état : elles repoussent donc le mobile C devant elles, & tendent à le diriger comme elles. La partie B, qui a été enfoncée la premiere, se rétablit aussi avant les autres, & pousse le mobile C dans la direction AF ; direction dont il ne doit pas sortir, parce que ses parties correspondantes, de part & d'autre, obéissent à des réactions semblables. De plus, cette partie B est reportée en A avec une vîtesse égale à celle avec laquelle elle a été déplacée. Sa vîtesse, ainsi que celle du mobile C, qu'elle pousse devant elle, est donc accélérée dans la même proportion

ſuivant laquelle elle a été retardée d'abord : de ſorte que, lorſque, par cette réaction, le mobile C eſt redevenu tangent à la ſurface DE, il a une vîteſſe égale à celle qu'il avoit d'abord en arrivant à cette ſurface ; & par conſéquent une force capable de le porter de A en F dans un temps égal à celui qu'il a employé à venir de F en A. Nous venons de dire que le mobile C arrive à la ſurface DE par une ligne FA perpendiculaire à cette ſurface, & faiſant avec elle un angle droit : par ce que nous venons de dire en dernier lieu, on voit que ce mobile rejaillit par la même ligne ; donc, dans ce cas-là, ſon angle de réflexion eſt égal à celui de ſon incidence.

132. Mais il arrive ſouvent que le mobile tombe obliquement ſur l'obſtacle : alors il change de direction ; il rejaillit par une autre route, parce que ſes parties correſpondantes éprouvent des réſiſtances inégales. Suppoſons que le mobile
Fig. 13. I (*fig.* 13) arrive à la ſurface RS par la ligne oblique TM, faiſant avec cette ſurface l'angle TMS. Suppoſons encore que le mobile I eſt parfaitement dur, & que l'obſtacle RS eſt parfaitement élaſtique. Le mobile I touche l'obſtacle d'abord au point *i* ; ce qui commence à retarder ſa vîteſſe : enſuite, en produiſant l'enfoncement *ip*, que nous ſuppoſons être la valeur de ſon

effort, il touche à chaque instant une plus grande surface, il agit sur un plus grand nombre de parties, & sur des parties de plus en plus résistantes, comme ayant été condensées par la compression qu'elles ont éprouvée dans les premiers instans : de sorte que sa vîtesse est retardée par des quantités qui vont toujours en augmentant (131); ce qui fait que son centre, au lieu de descendre par une ligne droite, descend par la courbe IM. Quand le mobile a consommé tout son mouvement, les parties enfoncées, n'étant plus retenues, se rétablissent successivement, & selon l'ordre suivant lequel elles ont été comprimées : par-là, la vîtesse du mobile est accélérée en montant dans la même proportion suivant laquelle elle a été retardée en descendant (131); ce qui fait que le centre du mobile remonte par la courbe MP parfaitement semblable à la courbe MI, par laquelle il est descendu. Ainsi, comme l'extrémité I de la ligne TI de son incidence est le commencement de la premiere courbe IM, de même l'extrémité P de la seconde courbe MP est le commencement de la ligne PQ de sa réflexion : ce qui rend l'angle de réflexion QMR parfaitement égal à l'angle d'incidence TMS.

L'égalité de ces angles d'incidence & de réflexion se démontre d'une maniere géométrique, en faisant usage d'un principe que nous emploierons

ci-après (162), ſavoir, que le mobile qui parcourt la ligne TM, ſe comporte comme s'il obéiſſoit à deux puiſſances, dont une le pourroit faire avancer de la quantité TV, pendant que l'autre le pourroit faire deſcendre de la quantité TS. Si, lorſqu'il eſt parvenu en M, une cauſe quelconque lui ôte toute ſa vîteſſe de haut en bas, ſans rien diminuer de ſa vîteſſe horizontale, il doit parcourir la ligne MR dans un temps égal à celui qu'il a employé à aller de T en M, parce qu'il n'eſt plus commandé que par une puiſſance. Mais au lieu de cette ſuppoſition, ſi, lorſque le mobile eſt en M, la puiſſance qui le commande de haut en bas ſe convertit en une autre puiſſance d'égale force, mais qui le ſollicite à ſe mouvoir de bas en haut, il ſera de nouveau commandé par deux puiſſances, dont l'une ſera MV & l'autre MR; & il ſuivra la diagonale MQ, qui fait néceſſairement, avec le plan RS, un angle égal à celui que fait, avec le même plan, la diagonale TM; puiſque ce ſont les diagonales de deux parallélogrammes égaux & ſemblablement placés. Or nous venons de voir ci-deſſus (131) que le mouvement de haut en bas ſe change, à pareil degré, en un autre de bas en haut, & qui lui eſt directement oppoſé: donc, &c.

133. Nous avons ſuppoſé le mobile parfaitement dur, & nous n'avons eu égard qu'au reſſort du plan qui réfléchit. Les mêmes effets auroient

lieu, si le plan étoit parfaitement dur, & que le mobile seul fût élastique : car dans le choc il s'applatiroit ; & les parties comprimées, en se rétablissant, s'appuyeroient sur le plan, & repousseroient le mobile avec une vîtesse égale à celle avec laquelle elles auroient été comprimées, & dans un sens contraire. Il est vrai qu'aucune de ces deux suppositions ne représente la Nature. Il n'y a point de corps parfaitement dur, & tous ont de l'élasticité, peu ou beaucoup (35). Ainsi, toutes les fois qu'il y a réflexion, le mobile & l'obstacle y ont tous deux part, chacun suivant son degré d'élasticité.

134. On a mis en question, s'il y a quelques momens de repos entre l'incidence & la réflexion. Quelques Physiciens ont été pour l'affirmative ; & d'autres pour la négative. Pour décider cette question, il faut savoir comment chacun l'a entendue. Il est certain qu'un corps à ressort qui vient frapper un plan, se bande & s'applatit peu à peu en changeant de figure, & consomme petit à petit tout le mouvement qu'il avoit, & qu'il emploie à bander son ressort. Quand une fois le ressort est totalement bandé, & que le corps a perdu tout son mouvement, le ressort se débande aussi-tôt, sans qu'il y ait d'intervalle entre le commencement du débandement & la fin du bandement. En effet, quelle seroit la cause

qui feroit que le ressort resteroit bandé lorsque le mouvement du corps est entiérement cessé, & que rien ne s'oppose au débandement du ressort? Il se débandera donc aussi-tôt, & rendra par degrés au corps tout le mouvement qu'il avoit perdu, précisément comme un pendule qui retombe après avoir, en montant, consommé tout son mouvement (258). Il n'y aura donc point d'intervalle entre la fin du bandement, qu'on peut regarder comme le terme de l'incidence, & le commencement du débandement, qu'on peut regarder comme le premier moment de la réflexion. Mais si on veut prendre pour le moment d'incidence celui où le corps vient à toucher le plan, & pour le moment de réflexion celui où le corps quitte entiérement le plan, il est évident qu'il y aura un intervalle de temps fini, quoique très-court, entre l'incidence & la réflexion; savoir, le temps que le ressort met à se bander & à se débander.

135. De tout ce que nous venons de dire, il s'ensuit que le ressort est la cause nécessaire de la réflexion; & que la direction du mouvement réfléchi est telle que l'angle de réflexion seroit toujours égal à l'angle d'incidence, si la réaction étoit parfaite. Mais comme c'est-là le cas le plus rare, on ne doit pas s'attendre ordinairement, dans la pratique, à avoir des effets bien conformes à

la théorie. Communément l'angle de réflexion eſt plus petit que l'angle d'incidence ; non ſeulement parce que le reſſort n'eſt pas parfait, mais encore parce que la peſanteur du mobile & la réſiſtance de l'air détruiſent une partie des effets. Il n'y a que dans les mouvemens de la lumiere (1218) & des fluides aériformes (1019), où ces angles ſe trouvent parfaitement égaux. Mais quoique cette égalité d'angles n'ait preſque jamais lieu, on voit pourtant qu'elle eſt une regle établie par la Nature, & fondée ſur des loix connues.

Les jeux de paume & de billard ſont preſque entiérement fondés ſur les regles du mouvement réfléchi, que nous venons d'établir.

Changement de vîteſſe & de direction occaſionné par un obſtacle impénétrable, & qui peut être déplacé ; ou Choc des corps.

136. Ce changement de vîteſſe & de direction eſt ce qui arrive à un corps qui en choque un autre, qui peut être déplacé. C'eſt au moyen de ce choc que le mouvement ſe communique du corps choquant au corps choqué ; & le déplacement de ce dernier va nous faire connoître les regles ſuivant leſquelles le mouvement ſe communique de l'un à l'autre. Quant à la raiſon métaphyſique du paſſage du mouvement d'un corps

à un autre, nous devons avouer de bonne foi notre ignorance sur la cause premiere. Ainsi nous ne nous occuperons point de cette question. Nous allons examiner seulement les changemens dont sont susceptibles le mobile & l'obstacle, quand ce dernier peut être déplacé par le choc.

137. Nous pouvons considérer ici deux sortes de corps : les uns mous & sans ressort, ou réputés tels (33) ; & les autres élastiques. L'élasticité de ces derniers change les résultats des loix établies par la Nature. Pour bien faire connoître ces loix, nous devons supposer ici des choses qui n'existent pas ; savoir, 1°. que les corps qui se choquent, se meuvent ou dans le vide ou dans un milieu non résistant, & qu'ils n'éprouvent aucun frottement. 2°. Que ces corps ou ont un ressort parfait, ou n'en ont point du tout. De sorte que, dans la pratique, l'effet ne répond jamais exactement à ce qu'exige la loi.

138. Il y a deux sortes de chocs des corps ; savoir, le choc direct, & le choc oblique. Le premier a lieu quand la direction des mouvemens des corps passe par leurs centres de gravité ; & le second a lieu quand cette direction n'y passe pas : l'un & l'autre ont des regles particulieres ; mais celles du choc direct sont bien plus aisées à déduire que celles du choc oblique ; parce que, dans ce dernier, il y a plusieurs causes qui

influent ſur le réſultat : & l'on ne peut bien en connoître l'effet, qu'autant qu'on connoît toutes les cauſes qui y contribuent. Pour ne pas trop compliquer la queſtion, nous ne traiterons ici que du choc direct.

139. Quand deux corps vont ſe choquer, ou l'un des deux eſt en repos, ou tous deux ſont en mouvement : s'ils ſe meuvent tous deux, ou ils ſe meuvent du même ſens ou en ſens contraire, avec des vîteſſes égales ou inégales. Mais avant que ces deux corps ſe choquent, il y a entre eux un intervalle, qu'il faut qui ſoit parcouru, ou par un ſeul ou par les deux, ſans quoi il ne peut y avoir de choc. Cet eſpace ne peut être parcouru que dans un temps fini ; & la durée de ce temps meſure la vîteſſe reſpective (62) de ces deux corps ; c'eſt-à-dire, la vîteſſe avec laquelle ces deux corps ſe joignent, ſoit que l'un des deux ſoit en repos, ſoit qu'ils ſe meuvent tous deux, en même ſens ou en ſens contraires, avec des vîteſſes égales ou inégales.

140. La vîteſſe reſpective étant connue, il faut conſidérer les maſſes ; car le corps choqué oppoſe ſon inertie au corps choquant ; & nous avons vu ci-devant (41) que cette réſiſtance eſt toujours proportionnelle à la maſſe. Ainſi, plus un corps a de maſſe, moins il reçoit de vîteſſe de la part d'un choc déterminé.

Nous allons parler d'abord du choc des corps non élastiques, ou réputés tels : & ensuite du choc des corps élastiques, auxquels nous supposons une élasticité parfaite.

Choc des corps non élastiques.

141. I REGLE. *Quand un corps en repos est choqué par un autre corps, la vîtesse du corps choquant se partage entre les deux, selon le rapport des masses.* C'est-à-dire qu'après le choc les deux corps se meuvent dans la direction du corps choquant ; & la vîtesse commune de ces deux corps est d'autant moindre, que le corps choqué a plus de masse. Si les deux corps sont égaux en masse, la vîtesse commune de ces deux corps, après le choc, est la moitié de celle qu'avoit le corps choquant avant le choc. Si le corps choquant a une masse double de celle du corps choqué, la vîtesse commune, après le choc, est les deux tiers de celle du corps choquant avant le choc. Si le corps choqué a une masse double de celle du corps choquant, la vîtesse commune, après le choc, n'est plus que le tiers de celle du corps choquant avant le choc ; &c. En effet, après le choc, les deux corps réunis sont comme une seule masse : supposons-les de masses égales, & pesant chacun une livre ; une force capable de transporter, par exemple, à dix pieds, dans un

un temps donné, une maſſe d'une livre, ne peut porter qu'à cinq pieds une maſſe double en pareils temps; & ainſi de tous les autres cas qu'on pourra ſuppoſer.

142. Il faut bien remarquer ce qui ſuit. Dans l'inſtant du choc il ſe fait un applatiſſement aux deux corps, lequel, étant cauſé par la réſiſtance du corps choqué, eſt d'autant plus conſidérable, que ce corps choqué a plus de maſſe; car, dans ce cas-là, il réſiſte davantage (41). Pour rendre raiſon de ces applatiſſemens, il faut faire attention que les effets les plus prompts, & qui nous paroiſſent inſtantanés, ne ſont jamais produits que dans un temps fini, c'eſt-à-dire, dans un temps dont la durée n'eſt pas la plus courte qu'on puiſſe imaginer. Lorſque les deux corps commencent à ſe toucher, les parties les plus avancées du corps choquant, celles qui choquent les premieres, ont déjà perdu une partie de leur vîteſſe, pendant que le centre & les parties les plus reculées ont encore toute la leur. Ce n'eſt donc qu'après quelques inſtans, fort courts à la vérité, que cette maſſe ralentie prend une vîteſſe également retardée dans toutes ſes parties. Mais les parties d'un corps ne peuvent pas ſe mouvoir plus vîte les unes que les autres, ſans que leur poſition relative, & par conſéquent la figure du corps, ſoit changée. L'applatiſſement de ce corps eſt donc un

effet & une preuve de sa vîtesse retardée successivement en plusieurs temps. On peut dire la même chose du corps choqué : il ne passe pas tout en un même instant de son état de repos au degré de vîtesse qu'il acquiert ; les parties immédiatement exposées au choc se meuvent plutôt que le reste ; ce qui occasionne encore un applatissement & un changement de figure. Et, comme nous venons de le dire, ces applatissemens sont d'autant plus considérables, que les corps ont plus de masse.

143. Puisque, suivant la premiere regle (141), la vîtesse diminue à proportion que la masse du corps choqué augmente, il s'ensuit que le mouvement doit être insensible après le choc, quand le corps choqué est infiniment plus grand que le corps choquant. C'est en effet ce qui arrive ; car, par exemple, un boulet de canon, qu'on a tiré contre un rempart, paroît avoir perdu tout son mouvement : la vîtesse qu'il conserve alors, est à celle qu'il a communiquée, comme sa masse est à celle du rempart. On a tiré de ce principe une conséquence qui ne paroît pas exacte, qui est, que la plus grosse masse est toujours déplacée par le choc de la plus petite. Cela pourroit être vrai, si la masse choquée étoit absolument inflexible ; mais ne l'étant pas, sa résistance sera assez durable pour consumer toute la vîtesse de la petite masse,

par l'introcession des parties occasionnée par le choc, & qui produit l'applatissement (142).

144. IIe. Regle. *Quand deux corps qui se meuvent du même sens avec des vîtesses inegales viennent à se choquer, soit que leurs masses soient égales ou non, ils continuent de se mouvoir ensemble & dans leur premiere direction, avec une vîtesse commune, moins grande que celle du corps choquant, mais plus grande que celle du corps choqué avant la percussion.* Quand le corps qui a le plus de vîtesse rencontre celui qui en a moins, la lenteur de l'un fait obstacle à l'autre: mais cet obstacle étant mobile, l'excès de vîtesse de l'un sur l'autre doit, selon la premiere regle (141), se partager entre les deux suivant le rapport des masses. Car supposons qu'on ôtât à l'un & à l'autre de ces deux corps une quantité de vîtesse égale à celle du plus lent avant le choc, ce dernier, avant d'être choqué, seroit en repos; & la vîtesse du plus vîte ne seroit que ce dont elle excédoit la vîtesse du plus lent. Ce seroit absolument le cas de la premiere regle; ce seroit un corps en repos choqué par un autre, dont la vîtesse doit se partager entre les deux suivant le rapport des masses. Que l'on rende maintenant à chacun de ces corps la quantité de vîtesse que nous avons supposé qu'on leur a ôtée, ce sera pour le corps choqué sa premiere vîtesse, plus celle qu'il a acquise par

le choc ; & pour le corps choquant, sa premiere vîtesse, moins celle qu'il a donnée au corps choqué. Supposons, par exemple, deux corps A & B égaux en masses : qu'on donne à A 8 degrés de vîtesse, & à B 4 seulement : A, en choquant B, lui donnera 2 degrés de vîtesse, moitié de son excès ; & tous deux s'en iront avec une vîtesse commune de 6 degrés. Qu'on ait donné à chacun 4 degrés de vîtesse de moins que nous n'avons supposé, A n'en auroit que ce qui faisoit son excès, savoir 4 degrés ; & B seroit en repos. Voilà le cas de la premiere regle. Rendez à chacun ces 4 degrés, ce sera pour B, corps choqué, 4 degrés de vîtesse premiere, plus 2 degrés acquis par le choc ; & pour A, corps choquant, 8 degrés de vîtesse premiere, moins 2 degrés donnés au corps choqué. Il est donc évident que, dans tous les cas, la vîtesse propre du corps choqué est toujours augmentée, & celle du corps choquant toujours diminuée, & cela toujours suivant le rapport des masses. Donc, &c.

145. IIIe. Regle. *Si les deux corps qui doivent se choquer, se meuvent en sens directement contraire, le mouvement périt dans l'un & dans l'autre, ou du moins dans l'un des deux ; s'il en reste après le choc, les deux corps vont du même sens ; & la quantité de leur commun mouvement est égale à l'excès de l'un des deux sur l'autre, avant le choc.* C'est-à-dire, que si les

deux corps ont des quantités égales de mouvement, le mouvement périt dans l'un & dans l'autre, & tous deux sont réduits au repos. Si l'un des deux a plus de mouvement que l'autre, il ne reste de mouvement, après le choc, que l'excès du plus grand sur le plus petit; ce qui fait le mouvement commun des deux corps. Et comme la quantité du mouvement d'un corps résulte de sa masse multipliée par sa vîtesse (63), il s'ensuit que, si deux corps viennent se heurter avec des vîtesses qui soient en raison inverse des masses, ils sont tous deux réduits au repos; parce qu'ils se choquent avec des quantités égales de mouvement. L'effort d'un mobile peut donc croître, non seulement par la vîtesse, mais encore par la masse: c'est pourquoi il arrive souvent qu'un joueur de paume, pour augmenter sa force, demande une raquette plus lourde; parce qu'en la faisant mouvoir avec la même vîtesse, elle frappe la balle plus fort, si elle a plus de masse.

On voit, d'après ce que nous venons de dire du choc des corps non élastiques,

146. 1°. Que, lorsqu'après le choc, les directions des mouvemens des corps qui se heurtent, sont dans le même sens, il existe alors dans les deux corps réunis, une quantité de mouvement égale à celle qui subsistoit dans l'un des deux ou dans tous les deux, avant le choc.

147. 2°. Que, quand les directions des mouvemens de ces corps font en fens contraires, il périt du moins une partie du mouvement, s'il ne périt pas tout; & que, s'il en refte après le choc, la quantité qui en demeure, eft égale à la différence des deux quantités avant le choc.

Choc des corps élaftiques.

148. Dans tout ce que nous avons dit touchant le choc des corps non élaftiques, nous avons toujours obfervé deux effets principaux; favoir, 1°. une communication de mouvement du corps choquant au corps choqué; 2°. un changement de figure, ou un applatiffement à l'un & à l'autre à l'endroit du contact. Ces deux effets ont, pour caufe commune, le choc ou la percuffion : c'eft par cette action que la vîteffe fe tranfmet & fe diftribue uniformément entre les deux maffes; & pendant cette répartition, les figures changent, par les applatiffemens qui font produits par l'inertie des maffes (41).

149. Dans le choc des corps élaftiques, la Nature fuit précifément les mêmes loix : mais comme les parties enfoncées par le choc fe rétabliffent, ce dernier effet qui fe mêle à celui du mouvement communiqué, apporte beaucoup de changement aux réfultats.

150. Nous diftinguerons donc ici deux fortes

de mouvemens ; l'un, qui est indépendant du ressort, & que nous nommerons *Mouvement primitif* ; l'autre, qui naît de la réaction des parties applaties ou comprimées par le choc, & que nous appellerons *Mouvement de ressort*, ou simplement *Réaction*, qui double toujours le mouvement communiqué.

151. Ire. REGLE. *Quand un corps à ressort va frapper un autre corps à ressort qui est en repos, ou qui se meut du même sens que lui, celui-ci, après le choc, se meut dans la direction du corps qui l'a frappé, avec une vîtesse composée de celle qui lui a été donnée immédiatement ou par communication, & de celle qu'il acquiert par sa réaction après le choc : & le corps choquant, dont le ressort agit en sens contraire, perd, en tout ou en partie, ce qu'il avoit gardé de sa premiere vîtesse : & si son mouvement de ressort excede le restant de sa vîtesse premiere, il rétrograde suivant la valeur de cet excès. Et dans tous les cas, la vîtesse respective est, après le choc, la même qu'elle étoit auparavant.* Pour bien faire entendre cette regle, supposons d'abord un des corps en repos : 1°. Si les deux corps ont des masses égales, par le choc, le corps en repos recevra, tant par communication que par réaction, une quantité de mouvement égale à celle qu'avoit l'autre avant le choc : & ce dernier sera réduit

au repos, par son ressort qui détruira le reste de sa vîtesse primitive. 2°. Si les masses sont inégales, & que le corps choqué en ait le moins, tous deux, après le choc, iront dans la direction du corps choquant, mais ce dernier aura moins de vîtesse que l'autre. 3°. Si les masses étoient encore inégales, le corps choqué en ayant le plus, ce corps choqué iroit seul dans la direction du corps choquant, & ce dernier rétrograderoit. Supposons maintenant que les deux corps se meuvent du même sens : après le choc, tous deux iront encore du même sens, mais le corps choquant moins vîte ; à moins que le corps choqué n'ait beaucoup plus de masse que le choquant, auquel cas ce dernier rétrogradera. Et dans tous les cas, la vîtesse respective (62) sera, après le choc, la même qu'elle étoit auparavant.

152. On verra la raison de tous ces effets, si l'on fait attention que dans le choc des corps à ressort, comme dans celui des corps sans ressort, le mouvement du corps choquant, ou l'excès du mouvement de ce corps sur celui du corps choqué se communique à ce dernier suivant le rapport des masses. Mais il faut ajouter à cela, 1°. que la réaction double toujours, dans le corps choqué, la quantité de mouvement que celui-ci acquiert par communication : 2°. que cette même réaction tend, avec autant de force, à repousser

le corps choquant en arriere, & lui fait perdre, dans sa premiere direction, autant de mouvement qu'il en a déjà perdu par le choc. De sorte que, dans tous les cas, le corps choquant perd une quantité de mouvement égale à celle qne reçoit le corps choqué. Ainsi la réaction double toujours ces deux effets : elle double le mouvement communiqué au corps choqué ; & elle double la perte que fait le corps choquant.

153. IIe. REGLE. *Quand deux corps à ressort, égaux ou inégaux en masses, viennent, en sens contraire l'un de l'autre, se heurter avec des vîtesses propres, qui soient égales ou inégales ; après le choc ils se séparent, & leur vîtesse respective est la même qu'avant le choc.* Si ces deux corps étoient sans ressort, ou ils s'arrêteroient réciproquement, ou l'un des deux emporteroit l'autre, comme nous l'avons dit ci-devant (145). Ils se séparent donc en vertu de leur réaction : mais cette réaction est égale à la compression causée par le choc (112) ; & la compression est comme la vîtesse respective avant le choc : la vîtesse qui en résulte après le choc, doit donc être semblable. L'article ci-dessus (152) fera encore sentir la raison de tous ces effets.

154. A l'égard des corps élastiques, & dont le ressort seroit parfait, l'expérience prouve, 1°, que quand deux corps qui vont dans le même

sens, ou dont l'un est en repos, se choquent de façon qu'après le choc ils aillent encore dans le même sens, ou que l'un des deux reste en repos, la somme des mouvemens est la même après comme avant la percussion.

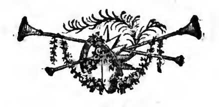
155. 2°. Que si l'un des deux corps retourne en arriere, la quantité du mouvement se trouve plus grande après qu'avant le choc. Il y a plus; c'est que la quantité du mouvement du corps choqué excede même celle du mouvement primitif, avant le contact: & cet excès de mouvement dans le corps choqué, égale la quantité de celui qui rétrograde après le choc.

156. 3°. Que quand les deux corps viennent se heurter en sens contraires, après le choc, la somme des mouvemens n'est jamais plus grande qu'avant le choc: elle peut même être moindre; auquel cas la perte est égale à la quantité que l'un des deux corps gagne.

157. Si l'on veut voir par expérience l'énoncé des regles que suivent les corps dans leur choc, que je suppose toujours être le choc direct (138), il faut avoir soin de se servir de corps sphériques, & que leurs centres de gravité se trouvent dans la direction de leur mouvement.

158. Il faut observer qu'on ne doit point estimer l'impulsion des fluides suivant les regles que nous venons d'établir touchant le choc des corps soli-

des; parce que ces derniers, étant composés de parties qui ont entre elles une forte adhérence, agissent selon toute leur masse & leur vîtesse actuelle. Il n'en est pas de même de l'action des fluides : vu la mobilité respective de leurs parties, il n'y a que celles qui choquent l'obstacle qui fassent effort ; les autres ne perdent point leur vîtesse, & par conséquent ne contribuent point à cet effort. C'est pourquoi l'eau & le vent ne communiquent pas tout de suite leur vîtesse à un mobile; ce n'est qu'après un certain temps que ce mobile reçoit tout le mouvement qui peut lui être transmis. C'est ce dont on peut se convaincre, en observant les ailes d'un moulin à vent, ou la roue d'un moulin à l'eau, quand elles commencent à se mouvoir.



CHAPITRE IV.

Des Loix du Mouvement composé.

159. LE mouvement composé (68) a ses loix, comme le mouvement simple : elles peuvent toutes se rapporter à une seule, & dont elles ne sont que des conséquences. Voici cette loi.

Loi du Mouvement composé.

160. *Quand un corps est sollicité au mouvement par plusieurs puissances qui agissent en même temps & selon différentes directions, ou il demeure en équilibre, ou bien il prend un mouvement qui suit le rapport des puissances entre elles pour la vîtesse ; & il reçoit une direction moyenne entre celles des puissances auxquelles il obéit.*

Quand les puissances qui agissent ensemble ont des directions diamétralement opposées, ou elles ont des forces égales, ou elles ont des forces inégales : dans le cas d'égalité, le mobile demeure en équilibre. Si leurs forces sont inégales, le mobile obéit à la plus forte, non pas suivant toute sa valeur, mais seulement suivant la valeur de son excès sur l'autre ; parce que la plus foible

détruit en l'autre une force égale à la ſienne : il ne reſte donc à la plus forte que ſon excès pour agir ſur le mobile. Ainſi, lorſque les puiſſances ſont directement oppoſées, il en réſulte ou le repos, ou le mouvement ſimple, mais retardé. Mais ſi les puiſſances ne ſont qu'obliquement oppoſées, c'eſt-à-dire, ſi leurs directions ſe croiſent, ou font angle au mobile, alors le mouvement ſe compoſe en vîteſſe & en direction.

Le mouvement compoſé peut ſe faire, ou en ligne droite, ou en ligne courbe. Voyons quelles ſont les conditions néceſſaires pour l'un ou l'autre de ces mouvemens.

Mouvement compoſé en ligne droite.

161. Le mouvement compoſé ſe fait toujours en ligne droite, quand le mobile obéit à des puiſſances qui perſéverent dans le même rapport entre elles, ſoit qu'elles ne reçoivent aucun changement, ſoit que les changemens ſoient égaux ou proportionnels de part & d'autre; parce qu'alors les effets de chaque inſtant ſe rencontrent tous dans la même direction. Suppoſons donc ces rapports conſtans.

162. La vîteſſe & la direction d'un corps qui ſe meut d'un mouvement compoſé, ſe meſurent par la diagonale d'un parallélogramme, dont deux des côtés repréſentent les puiſſances. Suppoſons

Fig. 14. que le mobile M (*fig.* 14) soit tiré en même temps par deux forces, représentées par les deux lignes MC, MG, qui font angle ensemble au mobile M : la diagonale MI du parallélogramme MGIC, dont ces deux lignes MC, MG, sont deux côtés, mesure la vîtesse & détermine la direction que prendra le mobile M en vertu de ces deux forces. Car supposons MC une regle mobile, sur laquelle le mobile M descend avec une vîtesse uniforme, de M en C, en six instans égaux; tandis que la regle MC avance parallélement à elle-même, avec une vîtesse uniforme, de M en G, en six instans égaux aux premiers : il est clair qu'à la fin du premier instant le mobile M sera descendu en A; & la regle MC sera avancée en K : donc alors le point A & le mobile M, qui y est parvenu, se trouveront au point *a*. A la fin du second instant le mobile M sera descendu en B; & la regle MC sera avancée en L : le mobile, descendu en B, se trouvera donc au point *b*. Par la même raison, à la fin du troisieme instant le mobile M sera en *d* : à la fin du quatrieme instant il sera en *e*, &c. Enfin, après les six instans écoulés, le mobile M sera en I, après avoir parcouru successivement tous les points de la diagonale MI; & il sera arrivé, mais par un chemin plus court, aux termes des deux tendances; car le mobile M, arrivé en I,

sera descendu de la quantité GI égale à MC, & avancé de la quantité CI égale à MG.

163. Cette diagonale, qui marque la vîtesse du mobile, est plus ou moins longue avec des puissances de même valeur, suivant que les directions de ces puissances font entre elles des angles plus ou moins aigus. Si l'angle qu'elles forment est droit, elles ne se nuisent ni ne s'entr'aident : le mobile est porté aussi loin que l'exige chacune des puissances. Ainsi le mobile M (*fig.* 15) étant commandé par les deux puissances MA, MB, qui font entre elles l'angle droit AMB, suivra la diagonale MC. Mais si la puissance MB étoit placée en MD, & faisoit avec l'autre puissance l'angle obtus AMD, la diagonale, que suivroit le mobile M, seroit ME plus courte que MC. Si, au contraire, la puissance MB se plaçoit en MF, & faisoit avec la puissance MA l'angle aigu AMF, la diagonale, que suivroit le mobile M, seroit MG plus longue que MC : & cette diagonale s'alongeroit de plus en plus, si l'angle, que forment ensemble les directions des puissances, devenoit de plus en plus aigu. *Fig.* 15.

164. La diagonale, comme nous l'avons dit ci-dessus (162), détermine encore la direction que prendra le mobile. Si les deux puissances sont égales, comme MG, MC (*fig.* 14), la *Fig.* 14.

diagonale MI est également inclinée à l'une & à l'autre, & fait de part & d'autre, avec la direction de chacune de ces puissances, des angles égaux. Mais si les puissances sont inégales, comme
Fig. 15. MA, MB (*fig.* 15), la diagonale est plus inclinée à la plus grande des deux puissances, & fait, avec la direction de la plus grande, l'angle AMC plus petit que l'angle CMB, qu'elle forme avec la direction de la plus petite.

165. Il suit de ce que nous venons de dire, que, si l'on connoît l'angle de direction des puissances & leur degré de force, il sera aisé de connoître l'effet qu'elles doivent produire sur le mobile, c'est-à-dire, son degré de vîtesse & la direction qu'il doit prendre : car en exprimant la valeur des puissances & leurs directions par des lignes, par exemple, MA & MD, qui se joignent au point M, & en établissant un parallélogramme sur ces deux lignes, qui en représentent deux côtés, la diagonale ME donnera ce que l'on cherche.

166. Il suit encore que, si l'on connoît l'effet commun de deux puissances sur un mobile, & la direction & le degré de force de l'une des deux, on pourra juger de la valeur & de la position de l'autre. Si je fais, par exemple, qu'un mobile M a été porté de M en G, par l'action de deux forces, dont une est exprimée par MA;

je

je tire du point A au point G la ligne AG : & je ſuis ſûr que l'autre puiſſance ſera repréſentée par une ligne MF, tirée du point M, parallele & égale à AG.

167. Pour que le mouvement ſe compoſe, il n'eſt point néceſſaire que les puiſſances continuent d'agir pendant toute la durée du mouvement. Deux forces une fois imprimées (comme, par exemple, deux coups de marteau) par des cauſes qui ceſſent enſuite d'agir, produiſent le même effet, & compoſent le mouvement du mobile, comme ſi leurs actions étoient continues. C'eſt pour cette raiſon que ce que l'on jette par la portiere d'un carroſſe qui roule actuellement, n'arrive jamais à l'endroit où la main le lance. Car outre l'impulſion de la main, il y a de plus le mouvement de la voiture, qui eſt commun au mobile & à la main, & qui fait une ſeconde puiſſance, dont la direction ſe croiſe avec celle que la main donne au mobile : ce mobile doit donc ſuivre la diagonale d'un parallélogramme, dont ces deux puiſſances repréſentent deux côtés. Il ſuit de là que, ſi l'on vouloit ſauter par la portiere d'un carroſſe, dont les chevaux auroient pris le mors aux dents, & qu'il ſe trouvât là un petit tas de boue, un moyen ſûr de n'y pas tomber, ſeroit de tendre à ſe jeter dedans.

Mouvement composé en ligne courbe.

168. Le mouvement composé se fait toujours en ligne droite, comme nous l'avons dit ci-dessus (161), quand le mobile obéit à des puissances qui persévèrent dans le même rapport entre elles. Il n'en est pas de même si le rapport des puissances change; si, par exemple, de deux puissances, l'une devient ou plus forte ou plus foible qu'elle n'étoit, tandis que l'autre ne change pas; ou si, changeant toutes deux, elles ne changent pas proportionnellement. Dans ces cas-là, le produit de chaque instant est bien une ligne droite; car tous les corps commencent toujours à se mouvoir ainsi (74) : mais chacune de ces lignes droites a sa direction particuliere, qui change à chaque instant selon le changement de rapport des puissances. Supposons que le mobile M (*fig.* 16) soit sollicité à se mouvoir en même temps par deux puissances représentées par les deux lignes MF, M6 : que la puissance MF soit uniforme, c'est-à-dire, qu'elle tende à faire parcourir au mobile M des espaces égaux en temps égaux, comme MA, AB, BC, &c., & que la puissance M6 soit accélératrice, c'est-à-dire, qu'elle tende à faire parcourir au mobile M, en temps égaux, des espaces qui augmentent de plus en plus, comme M 1; 1, 2; 2, 3, &c.

Fig. 16.

Si nous faisons ici l'application de ce que nous avons dit ci-dessus (162), nous verrons que le mobile M parcourra dans le premier instant la diagonale M*a*; dans le second, la diagonale *ab*; dans le troisieme, la diagonale *bc*; dans le quatrieme, la diagonale *cd*, &c. Mais chacune de ces diagonales a une direction différente de celles des diagonales qui la précedent : & si nous les prenions infiniment courtes, en supposant les instans infiniment petits, leur suite formeroit la courbe M*abcdef*. Tels sont à peu près les mouvemens de tous les corps graves projetés hors de la perpendiculaire à l'horizon : tels sont une pierre qu'on lance avec la main, une bombe, un boulet, &c. l'impulsion qu'on leur donne est une force dont l'action est, de sa nature, égale dans tous les instans; & leur pesanteur est une puissance dont l'action augmente de plus en plus (216). Le corps projeté décrit donc une ligne courbe, qui suit la nature du changement de rapports de ces deux puissances.

169. Tout le monde est convaincu de la courbure de cette ligne relativement à la pierre & à la bombe que nous venons de donner pour exemple (168). Il n'en est pas de même du boulet; on est porté à croire qu'il arrive au but par une ligne droite : & ce qui le fait croire est que la vîtesse qui lui vient de l'impulsion de la pou-

dre, eſt infiniment plus grande que celle qui lui vient de ſa peſanteur ; de ſorte qu'il deſcend peu en comparaiſon de la quantité dont il avance. Mais il ſuffit d'obſerver la maniere dont le canon eſt conſtruit, pour ſe convaincre que le boulet arrive au but par un mouvement vraiment compoſé. Ce boulet eſt, comme nous venons de le dire, expoſé à l'action de deux puiſſances ; l'une qui eſt l'impulſion de la poudre enflammée, & l'autre qui eſt ſa peſanteur. La premiere eſt uniforme ; & l'autre accélératrice. Auſſi-tôt que le boulet eſt hors du canon, non ſeulement il avance dans la direction de l'impulſion qu'il a reçue, mais encore il deſcend en obéiſſant à l'action de ſa peſanteur, qui eſt capable de le faire tomber de 15 pieds dans la premiere ſeconde, de 45 pieds dans la ſuivante, &c. (216). Si donc le canon étoit extérieurement cylindrique, comme l'eſt ſa cavité ; la ligne de mire ſeroit parallele à la direction que reçoit le boulet en ſortant. Et, comme le boulet deſcend auſſi-tôt qu'il eſt ſorti, il faudroit diriger le canon vers un point plus élevé que le but que l'on veut atteindre. Or il ſeroit très-difficile d'eſtimer au juſte la quantité dont il faudroit pour cela relever le canon. Mais le canon ayant extérieurement une forme conique, eſt plus épais vers la culaſſe que vers ſon embou-
Fig. 17. chure ; ce qui fait que la ligne de mire AB (*fig.* 17)

& la véritable direction DE du boulet se croisent en chemin, & font en C un angle d'autant plus ouvert, que la différence entre l'épaisseur qu'a le canon vers la culasse & celle qu'il a vers son embouchure, est plus considérable. De sorte que, lorsqu'on croit diriger le boulet en B, on le dirige vraiment en E : & si la distance qu'il y a de E à B est égale à la quantité dont le boulet descend, pendant le temps qu'il est en chemin, il arrive au but aussi sûrement que s'il y étoit venu par une ligne parfaitement droite. Pour cela il faut que l'on tire à une distance cõnvenable, que l'impulsion de la poudre soit proportionnée au poids du boulet ; & que l'angle C, formé par la ligne de mire AB & la vraie direction DE du boulet, que l'on peut regarder comme le prolongement de l'axe du canon, soit dans une bonne proportion; c'est-à-dire, que l'écartement du point E au point B, soit de 15 pieds à la distance de 200 toises, qui est celle que le boulet parcourt dans la premiere seconde. Alors l'effort de la pesanteur fera descendre le boulet de la quantité EB; & l'on touchera par un mouvement vraiment composé, le but qu'on s'est proposé d'atteindre.

170. Ceci peut encore rendre raison d'un fait, qui paroît d'abord singulier, & auquel on ne s'attendroit pas si l'on n'y faisoit pas réflexion. Ce

fait eſt qu'un Mouſſe qui ſe laiſſe tomber du haut en bas de la hune, pendant que le vaiſſeau eſt à la voile, tombe au pied du mât & non pas dans la mer, quoique dans le moment qu'il atteint le pont, le vaiſſeau ſoit déjà bien loin de l'endroit où le Mouſſe a commencé à tomber. C'eſt que ce Mouſſe tombe par une ligne courbe, & non pas par une ligne verticale. A la vérité cette ligne paroîtroit verticale à ceux qui ſeroient ſur le vaiſſeau; mais on en appercevroit bien la courbure, ſi l'on étoit ſur le rivage; car il eſt bien vrai que la chûte du Mouſſe ſeroit parallele au mât qui eſt droit; mais les différens points du mât auxquels répondroit le Mouſſe en tombant, ſeroient plus avancés les uns que les autres dans la direction horizontale, & leur ſuite ſe trouveroit dans une ligne courbe, parce que la chûte ſe fait avec une vîteſſe accélérée. Pour bien en-

Fig. 16. tendre ceci, ſuppoſons M6 (*fig.* 16) le mât du vaiſſeau; le Mouſſe placé en M; 6*f*, le chemin que fait le vaiſſeau, pendant que le Mouſſe tombe de M en 6. Le Mouſſe a un mouvement horizontal commun avec le mât, dont la vîteſſe eſt uniforme (57): ſi-tôt qu'il échappe de la hune, ſa peſanteur le fait tomber avec une vîteſſe accélérée (58). Lorſque le Mouſſe, par ſa chûte, ſera arrivé de M en 1, le point 1 du mât ſera en *a*; lorſqu'il ſera tombé en 2, le point 2 ſera en *b*;

lorsqu'il sera en 3, le point 3 sera en *c*, &c. de sorte qu'à la fin de la chûte, le point 6 du mât & le Mousse seront arrivés en *f* : & le Mousse sera tombé par la ligne courbe M*abcdef*. On peut de la même maniere rendre raison de tous les faits analogues à celui-ci.

171. De tout ce que nous venons de dire, il suit que le mouvement en ligne courbe ne peut pas être l'effet d'une seule puissance : il ne suffit pas même qu'il y en ait plusieurs qui agissent en même temps ; il faut encore que ces puissances changent de rapports entre elles, sans quoi le mouvement se fera en ligne droite.



CHAPITRE V.

Des Forces centrales.

172. Tout ce que nous avons dit du mouvement & de ses loix, prouve qu'il n'y a aucun mouvement qui soit naturellement dirigé en ligne courbe. Un corps une fois déterminé à se mouvoir, soit par une seule cause, soit par plusieurs qui agissent ensemble, tend, en vertu de la premiere loi (74), à persévérer dans cet état; & cet état consiste à passer d'un terme à un autre par la voie la plus courte, qui est la ligne droite. Si donc on voit un mobile décrire une ligne courbe, on doit considérer le chemin qu'il fait comme une suite non interrompue de mouvemens en lignes droites, toutes très-courtes, & dont les directions particulieres changent à chaque instant, & forment entre elles des angles fort obtus, comme nous l'avons fait voir ci-dessus (168). On a vu que cette suite de mouvemens en lignes droites ne peut pas être l'effet d'une seule puissance : plusieurs même ne suffisent pas, si elles ne changent pas continuellement de rapports entre elles (171). Mais ces rapports peuvent changer, non seulement quant à l'intensité ou la force,

comme nous venons de le voir ; mais ils peuvent varier auſſi quant à la direction des puiſſances. C'eſt ſous ce dernier point de vue que nous allons conſidérer le mouvement en ligne courbe.

173. Suppoſons que le mobile A (*fig.* 18) ſoit ſollicité à ſe mouvoir par deux puiſſances AB, AC, dont les directions faſſent entre elles un angle droit au point A ; & dont la force de la premiere ſoit à la force de la ſeconde, comme 3 eſt à 1. Le mouvement compoſé de ces deux forces commencera par A*d*, & continueroit vers *l*, *m*, D, ſi rien ne changeoit dans ces forces : mais ſi, une fois cette nouvelle direction imprimée, la puiſſance qui étoit en AC, ſe trouve placée en *d*H, faiſant encore angle droit avec la nouvelle direction *d*D, comme elle le faiſoit d'abord avec la direction AB, le mouvement ſe compoſera de nouveau, & le mobile ira de *d* en *e* : ſi alors cette puiſſance ſe trouve placée en *e*I, faiſant encore angle droit avec *e*E, le mobile ſe portera de *e* en *f* : s'il continue d'arriver pareille choſe, le mobile ſe portera de *f* en *g*, puis en *h*, &c. de ſorte que ces directions continuant de changer ainſi, finiroient par aboutir au point A, après avoir fait le tour entier. Ce que nous venons de ſuppoſer, n'eſt point un cas métaphyſique ; cela ſe trouve réellement dans le mouvement d'une fronde, ou de tout autre corps *Fig.* 18.

qu'on fait tourner au bout d'une corde : car la main qui tient la corde, passant successivement par les points C, H, I, K, &c., fait passer la corde par les positions AC, *d*H, *e*I, *f*K, &c.; & comme cette corde reste toujours de même longueur, elle représente une puissance qui ne varie que par sa position. Si nous considérions ces élémens A*d*, *de*, *ef*, *fg*, &c., comme infiniment courts, leur suite formeroit une courbe réguliere, qui seroit un cercle.

174. Tout corps qui circule, le fait donc en vertu de deux forces : si l'une des deux cessoit d'agir, le corps cesseroit de circuler ; parce qu'il ne seroit plus commandé que par une puissance, comme, par exemple, si la corde d'une fronde venoit à casser, lorsqu'elle se trouve en *d*H ou en *e*I, la pierre s'en iroit ou par *d*D ou par *e*E, lignes que l'on nomme *Tangentes*. Tous les corps qui circulent, font donc un continuel effort pour ne plus circuler ; puisque, s'ils étoient libres, ils s'échapperoient par une tangente. Mais tendre à s'échapper par la tangente, ou faire effort pour s'éloigner du centre autour duquel le corps circule, sont deux expressions qu'on peut regarder comme synonymes ; car si le mobile A, arrivé en *d*, au lieu d'aller de *d* en *e*, continuoit de *d* en *l*, en *m*, en D, il s'écarteroit de plus en plus des points I, K, &c., & par conséquent du centre de sa

Physique.

E
B

A
C G

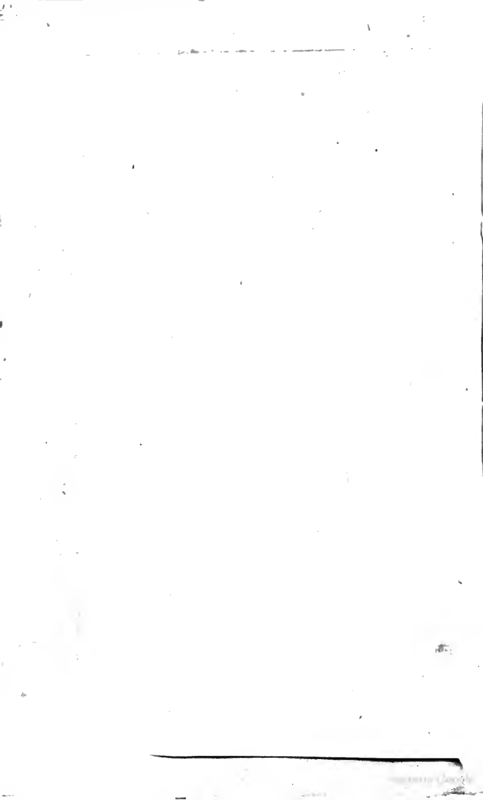
M A B C D E F
1 a
2 b
3 c
4 d
5 e
6 f

Fig. 16.

D d G

Fig. 13.

Q Y



circulation. Tout corps qui circule, si-tôt qu'il commence à circuler, reçoit donc, par cela même, une tendance à s'éloigner du centre de sa circulation; & si cette tendance n'a pas son effet, c'est que ce corps est retenu ou poussé vers ce centre par une puissance contraire.

175. Ce sont ces deux forces, qui produisent le mouvement en ligne courbe, & qui sollicitent continuellement le mobile, l'une à s'éloigner, & l'autre à s'approcher du centre, que l'on nomme *forces centrales* : & pour les distinguer l'une de l'autre, on appelle la premiere *force centrifuge*, & l'autre *force centripete*.

176. Ces deux forces sont directement opposées l'une à l'autre : car, quoique la force centrifuge ait sa direction par la tangente BD (*fig.* 19), & que la direction de la force centripete soit suivant celle du rayon BC, lesquelles sont ensemble un angle droit, il est cependant certain que le rayon prolongé CA seroit, en tournant, coupé par la tangente BD dans une suite de points E, F, D, qui vont tous en s'écartant de plus en plus du centre C. Le corps qui s'en va par la tangente, fait donc la même chose que s'il glissoit réellement suivant le prolongement du rayon. Si l'on veut s'en assurer, qu'on fasse l'expérience suivante. A l'extrémité d'une verge de bois C*g* (*fig.* 20), qui puisse tourner sur le point C, adaptez une petite

Fig. 19.

Fig. 20.

lanterne quarrée *gad*, vitrée des quatre côtés : placez librement au milieu de la lanterne, une bille d'acier *b*; & faites tourner la regle : le verre *d* sera cassé. Si la bille *b* ne suivoit que la tangente *bf*, ce seroit le verre *a* qui seroit cassé : puisque c'est le verre *d* qui l'est ; donc la bille *b* suit le prolongement *be* du rayon C*g* : mais ce rayon, en tournant, à son prolongement *be* coupé successivement dans tous ses points par la tangente *bf*. Donc la bille *b*, en s'en allant par la tangente *bf*, suit réellement le prolongement *be* du rayon. C'est par cette raison que la corde d'une fronde demeure tendue, pendant qu'on la fait tourner; puisque la pierre qui tend alors à s'en aller, par le prolongement de la corde, presse contre le fond de la fronde. La force centrifuge tend donc à éloigner le mobile directement du centre ; tandis que la force centripete tend directement à l'en rapprocher.

177. Les planetes sont en proie à ces deux forces : leur force centrifuge, résultante de leur mouvement de rotation (174), tend à tous les instans à les écarter du centre de leur mouvement ; & leur force centripete, résultante de la gravitation générale (194), tend à les en rapprocher. De ces deux forces opposées naît un mouvement composé en ligne courbe, par lequel chaque planete décrit son orbite, qui est une courbe relative à la nature des forces qui l'animent.

178. Les forces centrales ont lieu dans toutes les ſubſtances, ſoit ſolides, ſoit fluides, toutes les fois que leur mouvement ſe fait en ligne courbe : c'eſt-à-dire, que toutes ont une force centripete, réſultante de leur gravité : & toutes acquierent une force centrifuge, ſi-tôt qu'elles commencent à ſe mouvoir en ligne courbe (174). Il n'y a là-deſſus aucune exception. Faites tourner un corps ſolide quelconque ; ſi la force qui le retient ou le pouſſe vers le centre de ſon mouvement, s'affoiblit ou ceſſe d'agir, vous le verrez s'écarter de ce centre. Faites de même tourner de l'eau, vous lui verrez faire la même choſe, même dans une direction oppoſée à celle de ſa peſanteur, pourvu que la force centrifuge qu'elle acquiert par ſon mouvement de rotation, ſoit ſupérieure à l'effort de ſa peſanteur.

179. Sur ce principe, on a conſtruit des machines, dans leſquelles on a employé différens moyens pour faire tourner l'eau, & lui faire, par là, acquérir une force centrifuge capable de l'élever malgré ſon poids. On en peut voir un grand nombre dans le *Recueil des Machines de Ramelli*, & dans celui des *Machines approuvées par l'Académie Royale des Sciences. Tom. VI. pag.* 9 *& ſuivantes.* Sur ce même principe on a fait des ſoufflets de forge. *Ibid. Tom. V. pag.* 41 ; des cribles, des vans, &c., pour nettoyer le blé. M.

Desaguilliers (*Transf. phil. N°.* 437) a fait construire des machines à peu près semblables, & toujours sur le même principe, pour renouveler l'air de la chambre d'un malade, des lieux qui deviennent mal-sains par le grand nombre ou par le mauvais état des personnes qui les remplissent : comme les salles de spectacle, les infirmeries, les hôpitaux, &c.

Voyons maintenant comment on estime la valeur des forces centrales.

180. La valeur de la force centripete d'un corps qui circule, ou la quantité dont ce corps se rapprocheroit, dans un temps donné, du centre de sa révolution, si sa force centrifuge cessoit d'agir sur lui, est égale au quarré de la portion de la courbe qu'il décrit dans le même temps, divisé par le diametre de cette courbe : car *Huyghens* & *Newton* ont démontré (*de vi centrifugâ, Huygh. Opera. tom. II*, & *Princip. Mathém. de la Philosophie natur. Liv. I. Prop.* 4, *pag.* 54) qu'un corps qui fait sa révolution dans un cercle, se rapprocheroit, dans un temps donné, du centre de ce cercle, par sa seule force centripete, d'une quantité égale au quarré de l'arc qu'il décrit dans le même temps, divisé par le diametre du cercle. D'où il suit que ce corps, en vertu de sa seule force centripete, arriveroit au centre de son mouvement en moins de temps qu'il ne lui en faudroit pour parcourir les $\frac{1}{40}$ de sa révolution.

181. Pour connoître là valeur de la force centrifuge, il faut avoir égard à trois choses : 1°. à la masse du corps qui circule ; 2°. à sa distance au centre de sa révolution ; 3°. à sa vîtesse. Pour mesurer cette vîtesse, on a égard à deux choses : 1°. à la grandeur de la révolution ; 2°. au temps employé à la faire. Ce temps est ce qu'on appelle *temps périodique* : & la révolution est la courbe que décrit le mobile, à compter du point d'où il part, jusqu'à ce qu'il se rencontre sur ce même point, après un tour entier. La valeur de la force centrifuge d'un corps qui circule, est déterminée par le produit de sa masse multipliée par le quarré de sa vîtesse, divisé par sa distance au centre de sa circulation. Ce qui peut s'exprimer par la formule suivante, en appelant F, la force centrifuge de ce corps ; M, sa masse ; D, sa distance au centre de sa circulation ; & V, sa vîtesse. $F = \frac{M V^2}{D}$.

Maintenant, si nous voulons comparer entre elles les forces centrifuges de deux corps, appelons f, la force centrifuge de l'autre corps ; m, sa masse ; d, sa distance au centre de sa circulation ; & u, sa vîtesse. De la regle que nous venons d'établir (181), on peut inférer les phénomenes suivans.

182. 1°. *Les forces centrifuges de deux corps ;*

qui se meuvent avec la même vîtesse à égales distances du centre, sont entre elles comme les masses de ces corps. Ce qui s'exprime par cette formule. F : *f* : : M : *m*. C'est-à-dire, que si une de ces masses est double de l'autre, la force centrifuge de cette masse est double de celle de l'autre.

183. 2°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui se meuvent dans des temps périodiques égaux à différentes distances du centre, sont entre elles comme ces distances au centre.* Ce qui s'exprime par cette formule. F : *f* : : D : *d*. C'est-à-dire, que si une de ces distances est double de l'autre, celui des corps qui se meut à cette distance double, a une vîtesse double de celle de l'autre : le produit de sa masse multipliée par le quarré de sa vîtesse sera donc quadruple de celle de l'autre, & n'aura qu'un diviseur double : le quotient, qui donne la valeur de la force centrifuge, sera donc double.

184. 3°. *Les forces centrifuges de deux corps, dont les temps périodiques sont égaux, & dont les masses sont en raison inverse de leurs distances au centre, sont égales entre elles.* Ce qu'on peut exprimer par cette formule. F : *f* : : MD : *md*. Ici la masse simple a une vîtesse double, puisqu'elle est à une distance double : son produit par le quarré de sa vîtesse est donc double de celui de l'autre masse; mais elle a un diviseur

diviseur double : ce qui produit l'égalité des résultats.

185. 4°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui se meuvent à égales distances du centre avec des vîtesses différentes, sont entre elles comme les quarrés de ces vîtesses.* Ce qui s'exprime par cette formule. $F : f :: V^2 : u^2$. Ici tout est égal de part & d'autre, excepté les vîtesses, dont les quarrés sont les multiplicateurs : les forces centrifuges doivent être entre elles comme les quarrés de ces vîtesses.

186. 5°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui se meuvent à égales distances du centre avec des vîtesses différentes, sont entre elles comme les produits de leurs masses multipliées par le quarré de leurs vîtesses.* Ce qui s'exprime par cette formule. $F : f :: MV^2 : mu^2$. Puisqu'ici les diviseurs sont égaux, les forces doivent être entre elles comme sont entre eux les produits de leurs masses multipliées par le quarré de leurs vîtesses, avant d'être divisés par la distance au centre.

187. 6°. *Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui se meuvent avec des vîtesses égales à différentes distances du centre, sont entre elles en raison inverse de ces distances au centre* ; c'est-à-dire, que cette force est plus grande dans le corps qui circule à la plus petite distance du

centre. Ce qui s'exprime par cette formule. F : *f* :: *d* : D. Puisqu'ici tout est égal de part & d'autre, excepté les diviseurs, il est clair que plus le diviseur est grand, plus le quotient est petit : les forces centrifuges, qui sont exprimées par les quotiens, doivent donc être en raison inverse de ces diviseurs, lesquels sont les distances au centre.

188. 7°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui se meuvent avec des vîtesses égales à différentes distances du centre, sont entre elles comme les masses de ces corps multipliées par les distances au centre l'un de l'autre* ; c'est-à-dire, que, pour avoir ce rapport, on multiplie la masse d'un de ces corps par la distance au centre de l'autre : & *vice versâ*. Ce qui s'exprime par cette formule. F : *f* :: M*d* : *m*D. Puisque les vîtesses sont égales de part & d'autre, il est clair que les masses sont entre elles comme les produits ces masses multipliées par le quarré de leur vîtesse : il est donc égal de diviser ces produits, ou simplement les masses, par leur distance au centre ; ou de multiplier les masses par les distances au centre l'une de l'autre.

189. 8°. *Les forces centrifuges de deux corps inégaux, qui se meuvent avec des vîtesses inégales à différentes distances du centre, sont entre elles comme les produits des masses de ces corps par*

le quarré de leurs vîtesses propres, multipliées par les distances au centre l'un de l'autre; c'est-à-dire, que, pour avoir ce rapport, on cherche le produit de la masse d'un de ces corps par le quarré de sa vîtesse propre, & on le multiplie par la distance au centre de l'autre corps, au lieu de le diviser par sa propre distance au centre; & *vice versâ*. Ce qui s'exprime par cette formule: F : f : : $MV^2\,d : mu^2\,D$. Il est aisé de se convaincre, en cherchant la valeur de sa force centrifuge de chacun de ces corps, par le moyen de la regle établie ci-dessus (181), qu'il est encore égal ici de diviser ces produits chacun par la propre distance au centre de circulation de chacun de ces corps, ou de les multiplier par les distances au centre l'un de l'autre.

190. Si les forces centrales d'un corps se font équilibre, c'est-à-dire, si la force centripete d'un corps fait équilibre à la force centrifuge de ce même corps, ce corps continuera de tourner sans s'approcher ni s'éloigner du centre de sa circulation; & il décrira un cercle.

191. Mais si les rapports de ces forces changent; si, par exemple, l'une des deux devient plus forte ou plus foible qu'elle n'étoit, l'autre demeurant la même, le corps décrira une courbe qui suivra la nature de ces changemens de rapports.

192. Si ces rapports, une fois changés, se

rétabliſſent avant la fin de la révolution ; la courbe que décrira le mobile, ſera une courbe rentrante ſur elle-même : telle eſt, par exemple, une ellipſe.

193. Mais ſi ces rapports ne ſe rétabliſſent point ; ſi, par exemple, la force centripete va toujours en diminuant, la courbe ne ſera point rentrante ſur elle-même : le mobile, en s'éloignant du centre de ſon mouvement, décrira des ſpires plus ou moins régulieres, ſuivant le progrès de la diminution de cette force centripete.



CHAPITRE VI.

De la Gravité ou Gravitation des corps.

194. ON a donné le nom de *Gravité* ou de *Gravitation* à la force par laquelle tous les corps tendent les uns vers les autres. On a aussi appelé cette force *Attraction*. Tous les corps de la Nature se comportent entre eux comme s'ils s'attiroient mutuellement, ou comme s'ils étoient poussés les uns vers les autres par une puissance extérieure : & cette force, quelle qu'elle soit, paroît agir en raison directe des masses, & en raison inverse du quarré de la distance. Mais les corps s'attirent-ils réellement les uns les autres ? ou sont-ils poussés les uns vers les autres par une puissance extérieure ? Voilà ce que l'on ignore complétement. Cette impulsion n'a été que supposée, & n'a jamais été prouvée. L'attraction inhérente dans les corps, comme s'ils agissoient hors d'eux-mêmes & sans intermede, est inconcevable. En effet, *Newton* lui-même n'a jamais donné l'attraction comme la cause physique de la gravité des corps : il s'est seulement servi de ce mot pour énoncer le fait, & non pas pour en rendre raison, comme il le dit lui-même dans ses *Princ.*

Mathém. de la Philos. Nat. pag. 7, édition de Paris, 1759. Voici ses termes. » Au reste, je
» prends ici dans le même sens les attractions
» & les impulsions accélératrices & motrices ; &
» je me sers indifféremment des mots d'*impulsion*,
» d'*attraction*, & de *propension* quelconque vers
» un centre : car je considere ces forces mathé-
» matiquement & non physiquement ; ainsi le
» Lecteur doit bien se garder de croire que j'aie
» voulu désigner par ces mots une espece d'ac-
» tion, de cause ou de raison physique ; & lors-
» que je dis que les centres attirent, lorsque je
» parle de leurs forces, il ne doit pas penser
» que j'aie voulu attribuer aucune force réelle à
» ces centres, que je considere comme des points
» mathématiques. «. Il suit de là que nous ignorons encore quelle est la cause physique de la gravité, quoiqu'on ait imaginé plusieurs systêmes pour en rendre raison. Il n'y a aucun de ces systêmes qui soit soutenable, & contre lequel on ne puisse faire des objections auxquelles il est impossible de répondre. C'est pourquoi je ne crois pas devoir les rapporter ici : cela ne feroit qu'alonger cet article, sans y répandre plus de clarté. Si le Lecteur étoit curieux de les connoître, il les trouveroit dans les Ouvrages suivans : savoir, celui de *Gassendi*, dans l'*Essai de Physique de Musschenbrock*, *Tom. I* ; celui de *Descartes*, dans ses

Principes; celui de *De Molieres*, *dans ses Leçons de Physique*, & *dans les Principes du Systême des petits Tourbillons*, par M. *de Launay*, *Chap. X*; celui de *Bulfinger*, dans une Dissertation intitulée, *de Causâ Gravitatis*; celui d'*Huyghens*, à la tête du premier volume de ses Œuvres, sous le titre, *de Causâ Gravitatis*; celui de *Varignon*, dans ses *Conjectures sur la Pesanteur*, 1691, celui de *Perrault*, dans le premier volume de ses *Œuvres de Physique*; celui de *Villemot*, dans sa *nouvelle Explication du Mouvement des Planetes*; celui de *Bernoulli*, dans *sa nouvelle Physique céleste*, *Tom. III* de ses Œuvres; & celui de *Newton*, dans ses *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle*; & dans son *Traité d'Optique*.

195. On pourroit dire que la gravité est la même chose que la pesanteur : cependant il y a cette différence, que *pesanteur* ne se dit jamais que de la force particuliere qui fait que les corps sublunaires tendent vers la terre; & que *gravité* se dit de la force par laquelle un corps quelconque tend vers un autre. Car le principe général du systême *Newtonien* est que la gravité est une propriété universelle de la matiere : de sorte que, par cette propriété, non seulement un corps tend vers un autre, mais les parties d'un même corps tendent toutes les unes vers les autres; ce qui peut se prouver par un grand nombre de phéno-

menes. Nous ne rappellerons ici que les plus ſimples & les plus communs : par exemple, la figure ſphérique que prennent les gouttes d'eau, provient en grande partie d'une pareille force : c'eſt par la même raiſon que deux globules de mercure s'uniſſent & s'incorporent en un ſeul, dès qu'ils viennent à ſe toucher, ou qu'ils ſont fort près l'un de l'autre. A l'égard de la loi préciſe de cette attraction, on ne l'a point encore déterminée : tout ce que l'on ſait certainement, c'eſt qu'en s'éloignant du point de contact, elle décroît plus que dans la raiſon du quarré de la diſtance ; & que, par conſéquent, elle ſuit une autre loi que la gravité. En effet, ſi, de même que la gravité, cette force ſuivoit la loi de la raiſon inverſe du quarré de la diſtance, elle ne ſeroit guere plus grande au point de contact que fort proche de ce point : car *Newton* a démontré dans ſes *Principes Mathématiques*, que, ſi l'attraction d'un corps eſt en raiſon inverſe du quarré de la diſtance, cette attraction eſt finie au point de contact, & qu'ainſi elle n'eſt guere plus grande au point de contact qu'à une petite diſtance de ce point. Au contraire, lorſque l'attraction décroît plus qu'en raiſon du quarré de la diſtance, par exemple, en raiſon du cube, ou d'une autre puiſſance plus grande que le quarré ; alors, ſelon les démonſtrations de *Newton*, l'attraction eſt

infinie au point de contact, & finie à une très-petite distance de ce point. Or il est certain, par toutes les expériences, que l'attraction, qui est très-grande au point de contact, devient presque insensible à une très-petite distance de ce point. D'où il suit que l'attraction, dont il s'agit, décroît en raison d'une puissance plus grande que le quarré de la distance. Mais l'expérience ne nous a point encore appris si la diminution de cette force suit la raison du cube, ou d'une autre puissance plus élevée.

196. Tout le monde convient que tout mouvement est naturellement rectiligne; de sorte que les corps qui, dans leur mouvement, décrivent des lignes courbes, y doivent être forcés par quelque puissance qui agit sur eux continuellement. D'où il suit que les planetes faisant leurs révolutions dans des orbites curvilignes, il y a quelque puissance, dont l'action continuelle & constante les empêche de se déplacer de leur orbite & de décrire des lignes droites, en tendant à les rapprocher du centre de leur révolution (177) : c'est cette puissance, quelle qu'en soit la cause, à laquelle on a donné le nom de *gravité*. En effet, les planetes ne pourroient pas continuer de décrire leur orbite, s'il n'y avoit pas quelque force qui les retînt ou qui les poussât vers le centre de leur révolution (174) : cette force, appelée *gravité*,

existe donc réellement; & quoique nous en ignorions la cause, nous ne devons pas manquer de l'admettre.

197. Concluons de tout ceci, que les planetes sont retenues dans leurs orbites par une puissance qui agit continuellement sur elles; que cette puissance a sa direction vers le centre de ces orbites; que l'efficacité de cette puissance augmente à mesure que la planete approche du centre, & qu'elle diminue à mesure qu'elle s'en éloigne; qu'elle augmente en même proportion que diminue le quarré de la distance, & qu'elle diminue comme le quarré de la distance augmente.



CHAPITRE VII.

De la Pesanteur des Corps.

198. ON appelle *Pesanteur*, la force par laquelle tous les corps sublunaires se portent constamment d'un lieu plus élevé à un plus bas, tant que rien ne s'oppose à leur chûte, ou que les obstacles ne sont pas suffisans pour les arrêter : en un mot, on appelle *pesanteur*, la force par laquelle les corps tendent à descendre par une ligne perpendiculaire au point de la surface de la terre auquel ils répondent : & s'ils ne descendent pas par cette ligne, c'est qu'il y a quelque obstacle qui s'y oppose.

199. Il paroît que cette force, qui fait descendre les corps, est une suite de la gravitation générale qu'on observe dans la Nature (194). Mais comme on ne sait pas certainement quelle est la cause physique de cette gravitation, on ignore de même quelle est la cause physique de la pesanteur. Tous les systêmes qu'ont imaginés les Physiciens pour en rendre raison, peuvent se ranger en trois classes. Les uns regardent la pesanteur comme une qualité inhérente & primordiale des corps, comme une loi générale de

la Nature, qui peut n'avoir d'autre cause que la seule volonté du Créateur. Il faut avouer qu'ainsi on écarte toutes les difficultés, mais il ne faut pas prétendre qu'on rende par-là physiquement raison de la pesanteur. D'autres prétendent que la pesanteur est l'effet de l'impulsion de quelque matiere très-subtile & invisible. Mais quelle est cette matiere ? comment agit-elle ? & pourquoi ne pousse-t-elle les corps que dans une direction perpendiculaire à l'horizon ? voilà ce qu'on ne peut dire qu'imparfaitement, & ce à quoi on a opposé des raisonnemens auxquels on n'a pas encore pu répondre. Si l'on est curieux de juger soi-même ces systêmes, on les trouvera dans les Ouvrages que nous avons cités ci-dessus (194); & l'on verra qu'il n'y en a aucun qui présente, sur la cause physique de la pesanteur, une explication satisfaisante & bien intelligible. D'autres enfin disent que la pesanteur n'est qu'un exemple particulier de l'attraction réciproque des corps. Mais cette action des corps les uns sur les autres, agissant comme hors d'eux-mêmes, sans intermede & à de grandes distances, n'est point du tout aisée à concevoir. *Descartes* a cru pouvoir rendre raison de la chûte des corps par les forces centrales. Mais si son idée étoit vraie, les corps tendroient, non pas au centre de la terre, mais à l'axe ; ce qui est contre l'expérience. Nous

n'avons donc jusqu'à présent, sur la cause physique de la pesanteur, aucune explication satisfaisante. Laissons donc là la cause, & attachons-nous à la connoissance des effets : cela sera plus satisfaisant & en même temps plus utile.

Il arrive souvent que la pesanteur agit seule sur les corps : alors ils tombent suivant les loix que nous allons établir. D'autres fois la pesanteur agit sur les corps conjointement avec quelque autre puissance ; ce qui fait que le mouvement se compose. Nous allons traiter séparément de ces deux cas. Examinons, 1°. les phénomenes où la pesanteur agit seule sur les corps : 2°. ceux où le mouvement est composé de la pesanteur & de quelque autre puissance.

Phénomenes où la Pesanteur agit seule sur les Corps.

200. Il ne faut pas confondre ces deux termes, *pesanteur* & *poids* ; ils expriment deux choses très-différentes. La pesanteur d'un corps est la force qui le sollicite à descendre ; & son poids est la somme des parties pesantes qui sont contenues sous son volume. La pesanteur appartient également à toutes les parties d'un même corps : cette force n'augmente ni ne diminue par leur réunion ou leur séparation ; mais le poids d'un corps change, comme la quantité de matiere qui

le compose. On peut donc dire que, quoiqu'un petit corps ait moins de poids que n'en a un grand, il a cependant autant de pesanteur ; car l'un & l'autre tendent de haut en bas avec la même vîtesse.

201. Il faut considérer dans la pesanteur, ce que l'on considere dans toutes les autres puissances ; savoir, 1°. sa direction : 2°. son intensité, c'est-à-dire, la mesure ou la quantité de son action sur les corps.

202. Sa direction est toujours perpendiculaire à l'horizon. On exprime encore cette direction par une tendance au centre de la terre ; ce qui seroit précisément la même chose, si la terre étoit sphérique : car alors chaque ligne perpendiculaire à sa surface seroit le prolongement d'un rayon. Mais la terre étant un sphéroïde applati par les pôles, les lignes perpendiculaires à sa surface n'aboutissent pas toutes au centre, mais à différens points qui composent un espace autour du centre. Mais, comme cet espace est fort petit, on peut, sans erreur sensible, regarder le centre de la terre comme celui des corps graves.

203. A l'égard de l'intensité de la pesanteur ou de la mesure de son action sur les corps, il y a plusieurs questions qu'il faut examiner & résoudre. Il faut savoir, 1°. si cette action est la même dans tous les corps ; c'est-à-dire, si elle

tend à faire descendre les corps tous avec la même vîtesse : 2°. si la mesure de cette action est la même dans tous les temps : 3°. si elle est la même dans tous les lieux : 4°. si elle varie dans le même corps : 5°. dans le cas où elle varie, si elle augmente ou si elle diminue : 6°. dans l'un ou l'autre cas, comment se font ses progrès.

204. L'expérience ne nous apprend qu'à peu près combien un corps parcourt d'espace, dans un temps donné, en vertu de sa pesanteur ; parce qu'il a toujours à vaincre des obstacles inséparables de l'état naturel, comme en éprouvent les corps qui obéissent à toute autre puissance (75). La résistance des milieux, qui varie comme leurs densités (76) ; la figure du corps qui tombe (79, 80, 81) ; le rapport de sa masse à son volume ou sa densité (24) ; la portion de son poids qu'il perd dans l'air (321) ; tout cela empêche qu'on ne connoisse au juste la mesure primitive de l'action de la pesanteur sur les corps. On sait seulement qu'à Paris, par exemple, ou aux environs, un corps qui a peu de volume & beaucoup de masse, comme une balle de plomb, parcourt, dans l'air libre, environ 15 pieds de France dans la premiere seconde de sa chûte. Nous verrons bientôt pourquoi on embrasse ici toutes ces circonstances.

205. 1°. La mesure de l'action de la pesan-

teur eſt-elle la même dans tous les corps? On a cru pendant long-temps que la peſanteur & le poids étoient ſynonymes, & que les corps avoient une tendance à tomber d'autant plus grande qu'ils avoient plus de maſſe. Cela étoit vraiſemblable: en effet on voyoit toujours, comme on le voit aujourd'hui, qu'un corps peu denſe, comme une plume, tomboit moins vîte qu'un corps plus denſe, comme une pierre. Mais un plus ou un moins ne décide pas la queſtion, quand il n'eſt pas proportionnel à la cauſe que l'on ſoupçonne. *Galilée* eſt le premier qui ait meſuré ce *moins*: & ayant trouvé qu'il ne répondoit pas à la différence des poids, il imagina que la peſanteur agiſſoit avec une égale force ſur la plume & ſur la pierre; & que la différence dans leur chûte venoit uniquement de la réſiſtance de l'air, qui ſe faiſoit plus ſentir ſur celui des deux corps qui avoit le moins de maſſe (207). Ce raiſonnement étoit très-bien fondé; & l'on en voit la juſteſſe, ſi l'on fait tomber des corps dans le vide d'air: alors, de quelque nature qu'ils ſoient, ils tombent tous avec la même vîteſſe. La meſure de l'action de la peſanteur eſt donc la même dans tous les corps. C'eſt donc la réſiſtance de l'air qui eſt la cauſe de la différence de leur chûte dans le plein.

206. On peut ainſi évaluer cette différence, &

& en sentir la raison. La quantité de mouvement des corps s'estime par leur masse & leur vîtesse (63). Si nous regardons maintenant, comme en effet nous devons le faire ; la pesanteur comme une force qui imprime une vîtesse commune & égale à tous les corps, les quantités de mouvement de deux corps qui commencent à tomber, ne peuvent différer entre elles que par la masse ; & elles doivent lui être proportionnelles. Supposons donc une boule de plomb pesant 24 onces, & une boule de bois de même diametre pesant 2 onces : puisque leurs vîtesses initiales sont égales, leurs quantités de mouvement, au premier instant de leur chûte, seront comme leurs masses, c'est-à-dire, 24 dans le plomb & 2 dans le bois. Supposons maintenant que, pendant leurs chûtes, la résistance de l'air (qui est égale pour les deux corps, puisqu'ils ont le même volume & la même figure) leur ôte à chacun un degré de mouvement ; le plomb n'aura perdu que $\frac{1}{24}$ de ce qu'il avoit ; & le bois en aura perdu la moitié. Le ralentissement sera donc beaucoup plus considérable dans le bois que dans le plomb, quoique ces deux effets procedent de la même cause. Voilà pourquoi les corps tombent, dans le plein, d'autant moins vîte qu'ils ont moins de masse ; tandis que dans le vide ils tomberoient tous avec une vîtesse égale.

207. On a fait en grand des expériences sur la chûte directe des corps, tant en Italie qu'en France, en Angleterre, en Allemagne, qui prouvent ce que nous venons d'avancer. Mais *Desaguillers* a fait ces expériences, avec plus d'avantage que personne, à la tour de Saint-Paul de Londres, élevée de 272 pieds anglois, qui équivalent à 255 pieds françois. Il fit tomber de cette hauteur deux boules de 5 $\frac{1}{2}$ pouces de diametre, dont l'une pesoit 2610 grains; & l'autre seulement 137 $\frac{1}{2}$ grains. Leurs masses étoient donc, à très-peu de chose près, dans le rapport de 19 à 1. La plus pesante acheva sa chûte en 6 $\frac{1}{2}$ secondes; la chûte de l'autre dura près de 19 secondes. Donc, 1°. la vîtesse de la chûte n'est pas proportionnelle à la masse; car la plus légere ayant employé 19 secondes à tomber, la plus pesante auroit dû tomber en 1 seconde; & elle en a mis 6 $\frac{1}{2}$. Donc, 2°. les corps tombent, dans le plein, d'autant moins vîte qu'ils ont moins de masse; car la boule qui a employé, dans le plein, 6 $\frac{1}{2}$ secondes à parcourir 255 pieds françois, auroit, selon les loix de l'accélération, que nous établirons ci-après (216), parcouru, dans le vide, pendant ce temps-là, 633 $\frac{1}{4}$ pieds : voilà donc 378 $\frac{1}{4}$ pieds de retranchés par la résistance de l'air; & la boule qui a employé, dans le plein, 19 secondes à parcourir 255 pieds, auroit parcouru,

dans le vide, pendant le même temps, 1353 $\frac{1}{4}$ pieds : voilà donc 1098 $\frac{1}{4}$ pieds de retranchés par la même résistance de l'air. Donc cette résistance de l'air produit sur les corps qui tombent, d'autant plus de retardement dans leur chûte qu'ils ont moins de masse (205). *Newton* a confirmé ce principe par les vibrations de boules suspendues à des fils, & dont il a mis les diametres & les poids en différens rapports. Nous ferons voir (258) que ces vibrations sont un effet de la pesanteur. Si donc deux boules de même diametre, de même poids, & suspendues par des fils d'égales longueurs, font, dans le même air, des vibrations semblables en amplitude & en durée, on voit qu'elles sont animées par des pesanteurs égales ; & l'on ne doit pas changer de sentiment, si la différence que la diminution ou l'augmentation du poids y apporte, ne suit pas le rapport des masses.

208. Par ce principe, l'on explique aisément pourquoi la même matiere tombe plus lentement à mesure qu'elle se divise : par exemple, une bûche réduite en copeaux, tombe beaucoup plus lentement que lorsqu'elle est entiere. Par sa division elle acquiert plus de surface ; elle en présente davantage au milieu résistant, qui, pour cette raison, lui cause plus de retardement dans sa chûte. Sans cette résistance de l'air, qui retarde

& divise les corps dont les parties ont entre elles peu d'adhérence, la chûte d'une potée d'eau feroit aussi à craindre que celle d'un glaçon ou d'une pierre de même poids. C'est par cette raison que la grêle tombe plus vîte que la pluie, & cause plus de ravages dans nos campagnes ; & sans cette résistance de l'air, qui retarde la chûte des corps, la plus petite grêle feroit, par la vîtesse extrême de sa chûte, capable de tuer les hommes & les animaux.

209. 2°. La mesure de l'action de la pesanteur est la même dans tous les temps ; car les corps tombent aujourd'hui, comme ils tomboient il y a plusieurs milliers d'années : il n'y a donc point de variation à cet égard.

210. 3°. La mesure de l'action de la pesanteur est-elle la même dans tous les lieux ? En regardant comme centre des graves celui de la terre, on a soupçonné qu'à différentes distances de ce centre, l'intensité ou la mesure de l'action de la pesanteur n'est pas la même ; qu'elle agit avec d'autant moins de force sur les corps, qu'ils sont plus éloignés du centre de la terre. Et voulant connoître, par l'expérience, si ce soupçon étoit bien ou mal fondé, on a éprouvé la chûte des corps aux plus grandes hauteurs & aux plus grandes profondeurs auxquelles on a pu parvenir ; mais n'ayant trouvé dans ces chûtes aucune différence

sensible, on a cru l'intensité de la pesanteur uniforme à toutes ces distances, jusqu'à ce qu'on ait eu des raisons de croire le contraire. C'est *Newton* qui nous a fourni ces raisons. Non seulement il assure que la pesanteur agit d'autant moins sur les corps, qu'ils sont plus éloignés du centre de la terre ; mais il donne de plus des regles pour évaluer cette diminution. Il nous dit, & de maniere à se faire croire, que, si la lune étoit abandonnée à sa force centripete, elle descendroit vers la terre en parcourant environ 15 pieds 1 pouce dans la premiere minute de sa chûte. Or c'est-là l'espace que les corps, placés vers la surface de la terre, parcourent, en vertu de leur pesanteur, dans la premiere seconde de leur chûte (204) : & s'ils tomboient librement pendant 1 minute, & faisant abstraction de la résistance de l'air, ils parcourroient, à cause de l'accélération de leur chûte, dont nous parlerons bientôt (216), 3600 fois cet espace. Un corps qui tomberoit de la lune vers la terre, tomberoit donc 3600 fois plus lentement. Mais la lune est éloignée environ 60 fois autant du centre de la terre, que les corps, qui sont à sa surface, le sont de ce même centre (1871) : & 3600 est le quarré de 60. D'où l'on doit conclure, avec *Newton*, que l'action de la pesanteur sur les corps décroît comme le quarré de la distance

augmente. C'est dans les Ouvrages mêmes de *Newton* qu'il faut chercher les preuves de ce qu'il avance; preuves fondées sur des connoissances certaines. (Voyez ses *Principes mathématiques de la Philosophie naturelle*, *tom. II*, *Prop. IV*, *pag.* 13, *édit. de Paris* 1759). Voici à peu près comment on peut juger de la quantité de l'action de la pesanteur sur les corps à la hauteur de la lune, par la quantité de la même action sur les corps qui sont vers la surface de la terre, en supposant, comme l'a fait *Newton* (ce qui est plus que probable), que la force centripete de la lune est la même que celle des
Fig. 21. corps terrestres. Supposons que T (*fig.* 21) représente la terre : L, la lune; LABC, l'orbite de cette planete. Il est certain que la lune ne circule autour de la terre, qu'en conséquence de deux puissances qui agissent en même temps sur elle (174); l'une sa force centripete, qui la pousse ou la tire vers la terre dans la direction du rayon LT de son orbite; & l'autre sa force centrifuge, résultante de son mouvement de circulation (177), qui la pousse dans la tangente LF. Il est certain de plus, comme nous l'avons dit ci-dessus (166), que, si un corps obéit en même temps à deux puissances, comme LD, LE, on connoît le rapport de ces deux puissances par la diagonale LC que ce corps décrit. Supposons

donc que LC soit l'arc de son orbite que la lune parcourt dans une minute ; il est clair que le sinus verse LD de cet arc représente la quantité dont la lune descendroit vers la terre T, si elle n'obéissoit qu'à sa force centripete. Mais, vu la distance de la lune à la terre, & sa vîtesse moyenne, LD se trouve être, suivant *Newton*, de 15 pieds 1 pouce 1 $\frac{4}{9}$ ligne. C'est donc là l'espace que la lune parcourroit pendant une minute en vertu de sa pesanteur. L'intensité de cette force sur les corps est donc différente à différentes distances du centre de la terre ; & elle décroît comme le quarré de la distance augmente.

211. Nous n'avons point d'assez grandes hauteurs pour constater par expérience cette théorie de la chûte directe des corps : mais MM. *Bouguer & de la Condamine* y ont suppléé par l'expérience suivante. Il ont fait osciller un pendule pendant la révolution d'une étoile fixe (nous ferons voir ci-après (258) que ces oscillations sont un effet de la pesanteur), 1°. au bas, 2°. au haut d'une des montagnes des Cordilieres, & ont mesuré la différence des hauteurs perpendiculaires de ces deux stations. Le nombre des vibrations a été moindre, pendant le même temps, dans le haut que dans le bas : & ce *moins* s'est assez bien accordé avec la Théorie de *Newton*.

212. L'intensité de la pesanteur doit encore être

différente dans les différens climats de la terre. Car la terre tournant sur son axe, chaque point de sa surface, ainsi que les corps qui y sont placés, prennent une force centrifuge (174), qui diminue les effets de la pesanteur, puisqu'elle y est opposée (176). Mais cette force centrifuge ne diminue pas les effets de la pesanteur également par-tout; car elle est d'autant plus grande dans chacun des corps qui circulent, qu'ils décrivent de plus grands cercles dans le même temps (181), puisqu'alors ils ont plus de vîtesse. Or ceux qui sont sous l'équateur, ou près de là, décrivent de plus grands cercles que ceux qui sont vers les pôles: les effets de la pesanteur sur eux sont donc plus diminués; d'autant plus que la force centrifuge est directement opposée à la pesanteur sous l'équateur, & obliquement, par-tout ailleurs; & d'autant plus obliquement, qu'elle s'approche plus
Fig. 22. des pôles: car supposons AB (*fig.* 22) l'axe sur lequel tourne la terre: DE ou GP, le diametre de son équateur. 1°. Le corps qui tourne en G décrit, en 24 heures, un plus grand cercle que celui qui tourne en F, dont le cercle qu'il décrit a pour diametre FN, plus petit que DE. 2°. La force centrifuge en G a sa direction par GO, prolongement du rayon CG (176); & la force centripete a sa direction par GC: donc ces deux forces sont là directement opposées. Mais en F,

la force centrifuge a sa direction par FL, prolongement du rayon MF, tiré du centre M de la tranche dans laquelle le corps circule; & la force centripete a sa direction par FC : donc ces deux forces ne sont là qu'obliquement opposées. Les corps tombent donc plus lentement vers l'équateur que vers les pôles. C'est en effet ce qui a été prouvé par l'expérience faite à Caïenne, en 1672, par M. *Richer*. Il observa qu'un pendule d'une longueur convenable pour battre les secondes à Paris, mesuroit à Caïenne des temps plus longs ; & nous ferons voir (258) que le mouvement d'oscillation d'un pendule est un effet de la pesanteur. Cette expérience a été répétée depuis par plusieurs bons Observateurs, entre autres par les Académiciens qui sont allés au Pérou, & par ceux qui ont fait le voyage du Nord pour les mesures relatives à la figure de la terre; & elle a toujours prouvé que les corps tombent plus lentement vers l'équateur que vers les pôles; & que ce retardement diminue à proportion que la latitude du lieu augmente.

213. C'est cette même expérience qui a prouvé démonstrativement la rotation de la terre sur son axe ; & qui a fait douter de sa sphéricité. Car, puisque la terre tourne, ses différentes parties acquierent des forces centrifuges (174), qui ne sont pas égales dans toute son étendue (212); puisque les parties qui sont sous l'équateur décri-

vent un grand cercle en 24 heures ; celles qui sont vers les cercles polaires décrivent, en pareil temps, un cercle dont le diametre est beaucoup moindre, & celles qui sont sous les pôles, ne tournent point. *Huyghens* & *Newton* ne furent pas plus tôt informés de cette expérience, que, fondés sur les loix de la statique & des forces centrales, ils soupçonnerent que la terre n'étoit pas sphérique, mais qu'elle étoit un sphéroïde applati par les pôles. Car, dirent-ils, pour que les rayons de la

Fig. 22. terre CG, CP (*fig.* 22) qui répondent à l'équateur, soient en équilibre avec ceux CA, CB, qui répondent aux pôles, il faut que les premiers soient plus longs que les autres d'une quantité proportionnelle à la diminution de leur gravité, par la force centrifuge. Ils ont même poussé leur calcul jusqu'à déterminer cette quantité. Suivant *Huyghens*, le diametre de l'équateur est à l'axe de la terre comme 578 est à 577 : & suivant *Newton*, comme 230 est à 229 ; ce qui n'est pas très-éloigné l'un de l'autre. La théorie de ces deux grands Hommes a été confirmée depuis par les travaux des Académiciens dont nous venons de parler (212), & qui ont été, les uns au Pérou, & les autres dans le Nord, pour prendre la mesure d'un degré du méridien dans ces différens climats, afin de connoître par-là si la terre étoit sphérique ou non. C'est dans les Ouvrages de ces Savans

qu'il faut voir le détail de leurs opérations, dont je ne donne ici que les résultats. Le rayon de l'équateur de la terre est de 3,281,013 toises : la moitié de son axe est de 3,265,752 $\frac{1}{2}$ toises : la différence, 15260 $\frac{1}{2}$ toises, donne l'applatissement de la terre vers les pôles. Cette différence sur l'axe entier est égale à 13 lieues communes de France, de 2283 toises chacune, plus 842 toises : d'où il suit que le diametre de l'équateur est plus grand que l'axe de la terre de 13 lieues & environ $\frac{1}{3}$; ce qui donne le rapport du diametre de l'équateur à l'axe, comme 215 à 214 ; rapport dont celui de *Newton* approche beaucoup. (Voyez *la grandeur & la figure de la Terre* ; Ouvrage qui fait suite aux *Mém. de l'Acad. des Scienc. pour l'année* 1718.) On peut voir aussi les Ouvrages sur le même objet, des Académiciens qui ont été pour cela au Pérou & dans le Nord.

214. 4°. La mesure de l'action de la pesanteur varie-t-elle dans le même corps ? Si l'on mesure, comme en effet on doit le faire, cette quantité d'action par la vîtesse avec laquelle un corps descend, elle peut varier dans le même corps, suivant qu'il est chaud ou froid, suivant la figure de ce corps, suivant le rapport de sa masse à son volume, &c. Toutes ces causes de variation sont accidentelles ; elles naissent de la résistance du milieu (78), que le corps est obligé de traverser. Mais une autre

variation, qui dépend uniquement de la pesanteur, est celle qui arrive au corps pendant qu'il tombe. Il semble que cette force soit dans le mobile même ; elle agit sur lui, pendant toute la durée de sa chûte, autant qu'elle a agi au commencement : de sorte qu'elle lui donne à chaque instant une nouvelle impulsion, d'où naît un nouveau degré de vîtesse. Un corps qui a cédé à sa pesanteur pendant une seconde, a donc une vîtesse actuelle plus grande que celle qu'il auroit eue, s'il n'étoit tombé que pendant une demi-seconde. Car on sait qu'un corps qui tombe librement, produit un choc d'autant plus grand, qu'il tombe de plus haut ; dans ce cas-là, l'intensité de ce choc ne peut augmenter que par la vîtesse : car nous supposons la même masse, puisque c'est le même corps. La vîtesse de ce corps s'accroît donc à chaque instant.

215. 5°. L'intensité de la pesanteur va donc toujours en augmentant dans le même corps, pendant qu'il tombe. Mais suivant quelle loi s'accroît sa vîtesse ? L'expérience prouve que cet accroissement de vîtesse est proportionnel à la hauteur de la chûte, & non pas à sa durée. Que l'on fasse tomber différens corps de mêmes figures, de hauteurs qui soient entre elles en raison inverse des masses de ces corps, ils produiront tous le même effort : donc ils ont tous des quantités égales de mouvement (63) ; ce qui ne pourroit pas être, si

les vîtesses acquises à la fin de chaque chûte n'étoient pas proportionnelles à la hauteur de ces chûtes. Donc, &c.

216. 6°. Puisque la vîtesse d'un corps qui tombe s'accroît à tous les instans, quel est donc à chaque instant la progression de cet accroissement de vîtesse? C'est encore à l'expérience à nous instruire: voici ce qu'elle nous apprend. Si l'on fait tomber librement un corps qui ait beaucoup de masse & peu de volume, afin d'avoir le moins de déchet possible par la résistance de l'air, on verra qu'il parcourt un espace dans la premiere seconde de sa chûte; trois espaces dans la seconde suivante; cinq espaces dans la troisieme seconde; & ainsi de suite, en augmentant toujours de deux espaces égaux chacun à l'espace parcouru dans la premiere seconde. D'où il suit que la vîtesse d'un corps qui tombe, s'accroît à chaque instant dans la progression arithmétique des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, 9, &c. Il suit encore de là que la somme des espaces parcourus à la fin de chaque temps, est comme le quarré des temps. Car à la fin du premier temps, il n'y a qu'un espace parcouru; le quarré de 1 est 1: à la fin du second temps, il y a 4 espaces parcourus, 1 dans le premier temps, 3 dans le second; le quarré de 2 est 4: à la fin du troisieme temps, il y a neuf espaces parcourus; le quarré de 3 est 9: à la fin du quatrieme temps,

16 espaces; le quarré de 4 est 16 : &c. La vraie raison de cette accélération, & suivant cette loi, est qu'un corps qui est tombé, pendant un temps donné, d'une quantité déterminée, a, à la fin de cette chûte, une vîtesse acquise, capable de le faire descendre, en vertu seulement de cette vîtesse acquise, & indépendamment de l'action de la pesanteur, d'une quantité double de l'espace qu'il a parcouru dans le premier temps. Supposons un corps qui est tombé de 15 pieds pendant 1 seconde: ce corps a, à la fin de cette chûte, une vîtesse acquise, capable de le faire tomber de 30 pieds pendant la seconde suivante : & comme la pesanteur est une force qui réside dans le corps même, qui agit continuellement sur lui, & aussi fortement à tous les instans de sa chûte qu'au commencement (214), il faut, pour l'action de la pesanteur, pendant la deuxieme seconde, ajouter aux 30 pieds, un espace de 15 pieds, égal à l'espace parcouru en vertu de la pesanteur pendant la premiere seconde. Voilà donc, de parcourus pendant la deuxieme seconde, trois espaces, dont chacun est égal à l'espace parcouru pendant la premiere seconde. On fera le même raisonnement pour les secondes suivantes.

217. Ceci n'est point une supposition gratuite : le Docteur *Athoowd* a imaginé un moyen simple de prouver par expérience que, lorsqu'un corps

eſt tombé, pendant un temps donné, d'une quantité déterminée, ſi l'on fait en ſorte que la peſanteur ceſſe d'agir ſur ce corps, il continue de tomber avec une vîteſſe uniforme, & ſans aucune accélération, en parcourant, dans chaque temps ſuivant, égal au premier, un eſpace double de celui qui a été parcouru dans le premier temps. Voici en quoi conſiſte l'eſſentiel de ſon inſtrument. Une poulie A (*fig.* 23.) de 6 ou 7 pouces de diametre, très-mobile & ſuſpendue d'une maniere quelconque : deux corps cylindriques de métal B, C, parfaitement égaux entre eux en diametre & en poids : un cordon fort délié DEF : un petit poids G, d'environ 4 gros, rond & propre à être placé ſur le corps B : un autre petit poids H, long & dont le poids ſoit parfaitement égal à celui du poids G : une tringle graduée KL : un cercle de métal I, qui puiſſe ſe fixer à la tringle graduée, & qui ſoit aſſez large pour laiſſer paſſer librement le corps B. Sur la poulie A, faites paſſer le cordon DEF, aux extrémités duquel vous attacherez les corps B, C. Ces deux corps étant égaux en poids, ſeront en équilibre entre eux : pour rompre cet équilibre, & faire deſcendre le corps B, chargez-le du poids G, & placez ſa partie inférieure à la hauteur de o. Ayant un pendule qui meſure des temps égaux appropriés à la chûte de ce corps ; à la fin du premier temps, la partie inférieure du corps B

Fig. 23.

sera en 1 ; à la fin du second temps, elle sera en 4 ; à la fin du troisieme temps, elle sera en 9, &c. suivant la progression des nombres impairs établie ci-dessus (216). Maintenant, pour faire cesser l'action de la pesanteur sur ce corps B, reportez-le dans le haut, & faites de nouveau répondre sa partie inférieure à o : puis chargez-le du poids H au lieu du poids G ; & le laissez tomber. A la fin du premier temps, lorsque la partie inférieure du corps B répondra à 1, le poids H, qui est plus long que le diametre du cercle I, restera sur ce cercle ; ce qui ôtera au corps B son excès de poids sur celui du corps C, & fera cesser sur lui l'action de la pesanteur. Alors ce corps B continuera de se mouvoir avec une vîtesse uniforme, parcourant, dans chaque temps suivant, un espace double de celui qu'il aura parcouru dans le premier temps ; de sorte qu'à la fin du premier temps, sa partie inférieure répondant à 1, à la fin du second temps, elle répondra à 3 ; à la fin du troisieme temps, elle répondra à 5 ; à la fin du quatrieme, elle répondra à 7 ; à la fin du cinquieme, elle répondra à 9, &c. : au lieu que, si la pesanteur eût continué d'agir sur le corps B, il eût répondu à 9 à la fin du troisieme temps (216).

218. Pour bien entendre ceci, représentons, par des lignes, les temps & les vîtesses acquises. Fig. 24. Supposons la ligne AD (*fig.* 24.) représentant

trois

trois temps égaux, AB, BC, CD. Ces temps, quelque courts qu'ils soient, peuvent être divisés en autant d'instans qu'on voudra : divisons-les chacun en 6 instans, A*a*, *ac*, *ce*, *eg*, *gi*, *i*B, &c. La pesanteur, agissant à tous les instans sur le corps qui tombe (214), lui fera acquérir à chaque instant une nouvelle vîtesse. Représentons la vîtesse acquise, à la fin du premier instant, par la ligne *ab*; la vîtesse acquise à la fin du second instant sera représentée par la ligne *cd*, double de la ligne *ab*, puisqu'elle est le produit d'une impulsion deux fois répétée. Par la même raison, la vîtesse acquise à la fin du troisieme instant sera représentée par la ligne *ef*; &c. & en conséquence la vîtesse acquise à la fin du sixieme instant, par la ligne BE, six fois aussi longue que *ab*, comme résultante de six impulsions successives : & le triangle ABE représentera l'espace parcouru pendant le premier temps AB. Supposons maintenant que la pesanteur cesse d'agir ; le corps continuera de se mouvoir avec sa vîtesse acquise BE, & parcourra, pendant le second temps BC, deux espaces égaux à l'espace parcouru pendant le premier temps AB. Car pour connoître l'espace parcouru pendant ce second temps, en vertu de la vîtesse acquise, il faut multiplier cette vîtesse BE par le temps BC (56) ; ce qui donne le quarré BCFE,

lequel contient deux triangles, BCE, FEC, égaux au triangle ABE qui repréſente l'eſpace parcouru pendant le premier temps AB. Mais comme la peſanteur agit dans le ſecond temps autant qu'elle a agi dans le premier, il faut ajouter pour l'action de la peſanteur, pendant ce ſecond temps, le triangle FHE; ce qui fera trois triangles, on trois eſpaces égaux chacun à l'eſpace parcouru pendant le premier temps. On verra de même que, pendant le troiſieme temps CD, il y a cinq eſpaces parcourus: car, à la fin du ſecond temps, la vîteſſe acquiſe. eſt repréſentée par CH: ſi donc l'on multiplie cette vîteſſe CH par le temps CD, on aura le parallélogramme CDIH, lequel contient quatre triangles, qui repréſentent les eſpaces parcourus en vertu des vîteſſes acquiſes: ajoutez le triangle IHK, pour l'action de la peſanteur pendant ce troiſieme temps, il complétera les cinq eſpaces parcourus pendant ce temps. Et ainſi de ſuite, on trouvera 7 eſpaces pour le quatrieme temps; 9 pour le cinquieme, &c.

219. Il ſuit de là qu'un corps tombé d'une certaine hauteur, pendant pluſieurs inſtans, ſe trouve avoir, à la fin de ſa chûte, une vîteſſe acquiſe capable de le faire monter, pendant le même nombre d'inſtans, auſſi haut que le point d'où il eſt deſcendu, ſi quelque cauſe change ſa

Physique.

Fig. 21.

L E F
D C F
A
T

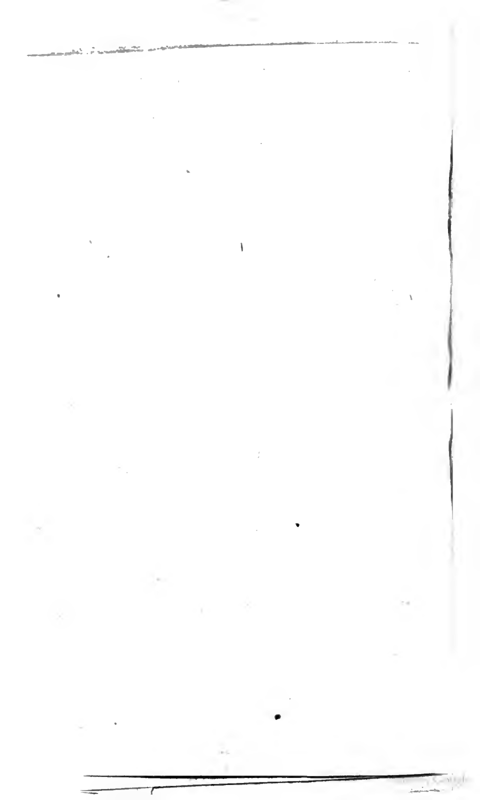
G
H
d e

Fig. 23.

A
E
I

Fig. 22.

L G K I H
D
F
M



direction ; parce qu'en vertu de cette vîtesse acquise, il a une force capable de le porter à un espace double de celui qu'il a parcouru (217). Mais, s'il remonte, l'action de sa pesanteur en retranche la moitié : il ne peut donc monter qu'à une hauteur égale à celle d'où il est descendu. Cette vîtesse est donc retardée, en montant, par l'action de sa pesanteur, dans la même proportion que celle suivant laquelle elle a été accélérée en descendant : de sorte qu'en montant, il parcourroit des espaces suivant la même progression que celle suivant laquelle il les a parcourus en descendant, mais dans un ordre renversé. Si donc il est tombé pendant quatre instans, il aura parcouru 1 espace dans le premier instant ; 3, dans le second ; 5, dans le troisieme ; & 7, dans le quatrieme (216). S'il remonte, il en parcourra 7 dans le premier instant ; 5, dans le second ; 3, dans le troisieme ; & 1, dans le quatrieme. Mais, de même que la résistance de l'air retranche une partie de l'accélération de la pesanteur dans les corps qui descendent (207), de même elle ajoute à son retardement dans les corps qui montent. C'est pour cette raison qu'un corps élastique, qui est tombé sur un autre corps élastique, tels qu'une bille d'ivoire ou d'acier tombée sur un plan de marbre (leurs ressorts fussent-ils parfaits),

ne peut jamais remonter aussi haut que le point d'où il est descendu.

De tout ce que nous venons de dire, relativement à l'action de la pesanteur, il suit :

220. 1°. Que la force qui fait tomber les corps, est toujours uniforme, & qu'elle agit sur eux également à chaque instant (214).

221. 2°. Que les corps tombent vers la terre avec une vîtesse uniformément accélérée (216).

222. 3°. Que leurs vîtesses sont comme les instans de leur chûte (218).

223. 4°. Que les espaces qu'ils parcourent à chaque instant de leur chûte, suivent la progression arithmétique des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, &c. (216).

224. 5°. Que les espaces qu'ils parcourent pendant la durée de leur chûte, sont comme les quarrés des temps, ou comme les quarrés des vîtesses; & que par conséquent les vîtesses & les temps sont en raison sous-doublée des espaces (216).

225. 6°. Que l'espace qu'un corps parcourt, en tombant pendant un temps quelconque, est la moitié de celui qu'il parcourroit pendant le même temps avec une vîtesse uniforme, en vertu de la vîtesse acquise; & que par conséquent cet espace est égal à celui que le corps parcourroit avec une vîtesse uniforme, en vertu de la moitié de cette vîtesse (217).

226. 7°. Que la force qui fait tomber les corps vers la terre, eſt la ſeule cauſe de leur poids ; car, puiſqu'elle agit à chaque inſtant (214), elle agit donc ſur les corps, ſoit qu'ils ſoient en repos ; ſoit qu'ils ſoient en mouvement ; & c'eſt par les efforts que ces corps font ſans ceſſe pour obéir à cette force, qu'ils peſent ſur les obſtacles qui les retiennent.

227. Comme l'air réſiſte au mouvement des corps, & qu'il y réſiſte d'autant plus qu'il eſt frappé avec plus de vîteſſe (83) ; il en réſulte que quand un corps, en tombant, a acquis par accélération (216) un degré de vîteſſe, qui fait qu'il frappe le fluide auſſi vîte qu'il peut céder, & qui le met par conſéquent en équilibre avec le milieu réſiſtant, il continue de s'y mouvoir, mais avec une vîteſſe uniforme, & ſans aucune nouvelle accélération. Les corps qui tombent, arrivent d'autant plus tard à cette uniformité de vîteſſe, que la denſité du milieu eſt moindre, ou qu'ils ont moins de volume & plus de maſſe (208). Auſſi la grêle arrive-t-elle plus tard à cette uniformité de vîteſſe, que ne le fait la pluie ; & la pluie plus tard que la neige.

Phénomenes où le mouvement eſt compoſé de la peſanteur & de quelque autre puiſſance.

228. La peſanteur eſt une puiſſance dont nous

venons de voir la direction (202) & l'intensité (202 *& suivant.*) Si l'on connoît les autres forces qui agissent conjointement avec elles sur les corps, on jugera aisément des résultats ; parce qu'ils seront toujours conformes aux loix du mouvement composé, que nous avons établies ci-dessus (160 *& suivant.*). Nous n'aurons donc à faire ici que des applications des principes du mouvement composé.

229. Quand un corps n'obéit pas complétement à sa pesanteur, c'est qu'il est retenu par quelque obstacle, ou sollicité par quelque force active qui agit dans une autre direction que celle de sa pesanteur. Si l'obstacle y est directement opposé & invincible, tel que seroit un plan horizontal sur lequel le corps seroit posé, ou une corde qui le tiendroit attaché à un point fixe, le corps se trouve alors entre deux puissances égales & opposées ; savoir, d'une part l'action de sa pesanteur, & d'autre part la réaction du point fixe ou du plan sur lequel il repose : & le corps demeure en repos. Mais si l'obstacle peut céder à la pesanteur, c'est le cas de deux forces dont l'une obéit à l'autre suivant la valeur de son excès ; & le mouvement demeure simple, mais retardé (160) ; comme cela arrive lorsque les corps pesans traversent, en tombant, des milieux résistans (207).

230. Si l'obſtacle n'eſt qu'obliquement oppoſé à la peſanteur, tel que feroit, par exemple, un plan incliné ou un fil de ſuſpenſion, ou bien une force active ou projectile, qui lanceroit le corps dans une autre direction que la perpendiculaire à l'horizon, alors le mouvement ſe compoſe de cette force & de celle de la peſanteur.

Chûte des corps par les plans inclinés.

231. Suppoſons d'abord un plan incliné. Un plan incliné eſt celui qui n'eſt ni vertical, comme *a c* (*fig.* 25.), ni horizontal, comme *c d*; mais qui, comme la ligne *a d*, forme un triangle avec ces deux premieres lignes, la verticale & l'horizontale. Ce plan eſt d'autant moins incliné, qu'il s'éleve davantage au deſſus du plan horizontal; ou, ce qui revient au même, que la ligne *a c* eſt plus longue comparativement à la ligne *c d*. Suppoſons que *a c* ſoit l'eſpace que le corps *a* parcourroit en deux temps, en tombant librement, & par une chûte directe & perpendiculaire; il parcourroit dans le premier temps *a b*, & dans le ſecond *b c*, trois fois auſſi long que *ab*, ſuivant les loix de l'accélération établies ci-deſſus (216). Mais ſi ce corps *a* eſt contraint de ſuivre le plan incliné *a d*, il ſe comporte préciſément comme il feroit, ſi, n'y ayant point de plan ſolide *a d* qui le ſoutînt, *Fig.* 25.

il étoit tiré dans le premier temps par une force *af*, dans une direction perpendiculaire au plan incliné *ad*, laquelle force continuât ensuite de faire dans tous les instans des angles égaux avec la direction de la pesanteur, & qui ne fît que varier d'intensité dans la même proportion que le fait la pesanteur elle-même. Dans le premier temps, le corps *a*, qui, en vertu de sa pesanteur, seroit porté de *a* en *b*, & qui, en vertu de la force que nous avons supposée, iroit de *a* en *f*, suivroit la ligne *ae*, diagonale du parallélogramme *abef*, dont les deux puissances *ab*, *af* représentent deux côtés (162) : ce corps seroit donc beaucoup moins descendu, que s'il n'avoit suivi que l'impulsion de sa pesanteur; puisqu'il ne seroit descendu que de la quantité *ai*, au lieu de la quantité *ab*. Pour le second temps, comme les forces ont trois fois autant d'intensité que dans le premier temps, il faut donc représenter la pesanteur par *eg* trois fois aussi longue que *ab*, & l'autre force par *eh* trois fois aussi longue que *af*; ce qui donne pour le second temps la diagonale *ek* trois fois aussi longue que *ae*. Pour le troisieme temps, les forces étant représentées par *kl* & *km*, la diagonale sera *kn* cinq fois aussi longue que *ae* ; & pour le quatrieme temps, la diagonale sera *nd* sept fois aussi longue que *ae*, &c.

De ces principes il ſuit :

232. 1°. Qu'un corps ne tombe jamais auſſi vîte par un plan incliné, que par la ligne verticale, qui eſt ſa direction naturelle : car s'il deſcendoit par la ligne verticale *ac*, il arriveroit en deux temps à l'abaiſſement *c*; au lieu qu'en ſuivant le plan incliné *ad*, il n'arrive qu'en quatre temps en *d* (231) qui eſt au même degré d'abaiſſement que *c*.

233. 2°. Que, quoique les effets de la peſanteur ſoient retardés par les plans inclinés, cependant la chûte des corps, par ces plans, eſt accélérée ſuivant les mêmes loix & proportions (216), que lorſque la peſanteur agit ſeule & avec liberté (231). Car la ligne *ek*, qui eſt parcourue dans le ſecond temps, eſt trois fois auſſi longue que la ligne *ae*, parcourue dans le premier temps : & la ligne *kn*, parcourue dans le troiſieme, eſt cinq fois auſſi longue, &c.

234. 3°. Que la durée de la chûte par le plan incliné eſt plus longue que celle de la chûte par la ligne verticale ; de la même quantité dont ce plan *ad* excede en longueur la ligne verticale *ac* : car *ad*, longueur du plan, eſt double en longueur de *ac*, hauteur du même plan ; & nous avons dit (231) que le corps qui n'emploieroit que 2 temps à parcourir *ac*, en emploieroit 4 à parcourir *ad*. D'où il ſuit, en général,

que *la durée de la chûte par un plan incliné quelconque, eſt à la durée de la chûte par la verticale de ce plan, comme la longueur du plan eſt à ſa hauteur.*

235. 4°. Que plus le plan eſt incliné à l'horizon, plus la chûte eſt retardée : car alors la longueur du plan excede davantage ſa hauteur. Et ſi ce plan devenoit horizontal, le corps, en le parcourant d'un bout à l'autre, ne tomberoit point du tout ; ſa chûte feroit nulle.

236. Un corps qui eſt contraint de ſuivre un plan incliné, ne tend donc pas à tomber avec toute ſa peſanteur abſolue, comme il le feroit, s'il tomboit librement par une ligne verticale ; il y eſt ſeulement ſollicité par ſa peſanteur reſpective, c'eſt-à-dire, par la portion de l'effort de ſa peſanteur qui n'eſt pas vaincu par le plan incliné. Et la peſanteur reſpective d'un même corps varie ſuivant l'inclinaiſon du plan qu'il eſt obligé de ſuivre. D'où il ſuit :

237. 1°. Que, ſi l'on prend pour ſinus total la longueur *ad* du plan, ſa hauteur *ac* ſera le ſinus de l'angle d'inclinaiſon *adc* : la peſanteur abſolue du corps *a*, qui eſt obligé de ſuivre ce plan incliné, eſt donc à ſa peſanteur reſpective, comme le ſinus total eſt au ſinus de l'angle d'inclinaiſon.

238. 2°. Que les peſanteurs reſpectives du

même corps, sur différens plans inclinés, sont l'une à l'autre comme les sinus des angles d'inclinaison.

239. 3°. Que plus l'angle d'inclinaison est grand, plus aussi est grande la pesanteur respective; car alors le plan est moins incliné, & soutient moins le corps.

240. 4°. Que dans un plan vertical, où l'angle d'inclinaison est le plus grand, puisqu'il est formé par une perpendiculaire, la pesanteur respective est égale à la pesanteur absolue; & dans un plan horizontal, où il n'y a aucune inclinaison, la pesanteur respective s'anéantit totalement; car alors le plan porte le poids entier du corps.

241. L'espace parcouru sur un plan incliné par un corps pesant, dans un temps donné, est à l'espace que ce corps parcourroit, pendant un temps égal, dans un plan perpendiculaire, comme la hauteur de ce plan est à sa longueur; & par conséquent comme le sinus de l'angle d'inclinaison est au sinus total (237).

242. Car la hauteur AB (*fig.* 26) d'un plan incliné est toujours moyenne proportionnelle entre la longueur AC de ce plan, & l'espace AD qu'un corps pesant parcourroit sur ce plan pendant un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber perpendiculairement de la hauteur AB de ce même plan. Si donc de l'angle droit B l'on *Fig.* 26.

tire une perpendiculaire BD sur AC, on aura AC : AB :: AB : AD. Donc un corps pesant, descendant sur ce plan incliné, viendroit du point A en D dans le même temps qu'il tomberoit perpendiculairement du point A au point B.

243. C'est pourquoi, étant donné l'espace AB de la chûte perpendiculaire, pendant un temps déterminé, suivant la hauteur du plan; si l'on tire une perpendiculaire du point B, terme de cette chûte, sur AC, on a l'espace AD qui doit être parcouru dans le même temps sur le plan incliné AC.

244. Pareillement, étant donné l'espace AD parcouru sur le plan incliné AC, pendant un temps déterminé, on trouve l'espace AB qui feroit parcouru perpendiculairement dans le même temps, en abaissant du point D, une perpendiculaire à AC, qui rencontre le plan vertical en B.

245. D'où il suit que dans le cercle ADEFBG *Fig.* 27. (*fig.* 27), un corps pesant descendra par l'un quelconque de ces plans inclinés, AD, ou AE, ou AF, ou AG, &c. dans un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber par le diametre AB, en le supposant perpendiculaire au plan horizontal HI. Car ce diametre AB est toujours moyenne proportionnelle (242) entre le plan AD, par exemple, & la longueur du plan incliné AL, dont ce plan AD fait partie; ou entre le plan AF,

& la longueur du plan incliné A H, dont ce plan A F fait partie, &c.

246. Pareillement, si le diametre A B d'un cercle est perpendiculaire à la ligne horizontale H I, un corps pesant descendra d'un point quelconque, ou D, ou E, ou F, ou G, &c. de la circonférence de ce cercle, en suivant les plans inclinés, ou D B, ou E B, ou F B, ou G B, &c. dans le même temps qu'il descendroit par le diametre A B, posé verticalement. Cela se déduit aisément de l'article précédent (245) : car il n'y a aucun de ces plans qui ne puisse avoir son parallele & égal, tiré de l'extrémité supérieure A du diametre.

247. D'où suit cette proposition générale : Qu'*un corps emploie, pour descendre obliquement par une corde quelconque d'un cercle, autant de temps qu'il lui en faudroit pour tomber par le diametre entier de ce même cercle, posé verticalement.* Car toutes ces lignes, A D, A E, A F, A G, D B, E B, F B, G B, sont autant de cordes de ce cercle ; & nous venons de voir (245 & 246) que chacune de ces lignes est parcourue par un corps pesant dans un temps égal à celui qu'il emploieroit à parcourir le diametre A B, posé verticalement. De plus, toute ligne tirée d'une extrémité B du diametre à un point D de la circonférence, est perpendiculaire à la ligne tirée de

l'autre extrémité A au même point D : elle marque donc le terme de la chûte par le plan incliné AD (243).

248. Il suit encore de là, que, si l'on conçoit AB comme le diametre d'un cercle, & que l'on prenne cette ligne pour le produit de la chûte perpendiculaire dans un temps donné ; la circonférence de ce cercle passera par toutes les extrémités D, E, F, G, &c. de toutes les chûtes obliques, achevées dans le même temps. Cette méthode, une fois connue, est très-simple pour connoître tout d'un coup le rapport des chûtes obliques entre elles, ainsi qu'avec la chûte perpendiculaire; car il n'y a point de ligne qu'on ne puisse supposer être le diametre d'un cercle.

Fig. 26. 249. Etant donné l'espace AD (*fig. 26*) parcouru, dans un temps déterminé, sur un plan incliné AC; si l'on veut déterminer l'espace qui seroit parcouru, dans le même temps, sur un autre plan incliné : du point D abaissez, comme nous l'avons dit ci-dessus (244), une perpendiculaire DB qui rencontre la verticale AB au point B; la longueur AB sera l'espace que le corps parcourra pendant ce même temps, en tombant perpendiculairement. C'est pourquoi, si du point B on éleve une perpendiculaire BE sur le plan AF, AE sera la partie de ce plan incliné que le corps parcourra dans le même temps qu'il tomberoit per-

pendiculairement du point A au point B; & par conſéquent dans le même temps qu'il parcourroit la partie AD dans l'autre plan incliné AC.

250. Ainſi, puiſque AB eſt à AD, comme le ſinus total AC eſt au ſinus AB de l'angle d'inclinaiſon C (242); & que AB eſt à AE, comme le ſinus total AF eſt au ſinus AB de l'angle d'inclinaiſon F: les eſpaces AD, AE, que le corps parcourt dans le même temps ſur différens plans inclinés, ſeront réciproquement comme les longueurs AC, AF, des plans d'égale hauteur; c'eſt-à-dire que AD ſera à AE, comme AF eſt à AC.

251. Les vîteſſes acquiſes dans le même temps, par les chûtes d'un corps ſur différens plans inclinés, ſont comme les eſpaces parcourus dans le même temps. Elles ſont auſſi réciproquement comme les longueurs AC, AF, des plans d'égale hauteur; c'eſt-à-dire que la vîteſſe acquiſe par la chûte d'un corps par la ligne AD, eſt à la vîteſſe acquiſe par la chûte du même corps par la ligne AE, comme AF eſt à AC.

252. Si l'on donne à un corps une impulſion pour le faire monter, ſuivant une direction quelconque, perpendiculaire ou oblique (ſuppoſons que ce ſoit dans un milieu non réſiſtant; ou faiſons abſtraction de la réſiſtance du milieu), la vîteſſe de ce corps ſera retardée par ſa peſanteur,

comme elle feroit accélérée, s'il defcendoit (216) : & les efpaces que ce corps parcourra en temps égaux, décroîtront dans un ordre renverfé, comme les nombres impairs 7, 5, 3, 1 (219). Et quand la force imprimée fera épuifée, le corps redefcendra par l'effort de fa pefanteur.

253. D'où il fuit, qu'étant donné le temps qu'un corps emploie à monter à une hauteur donnée, il eft aifé de déterminer l'efpace parcouru à chaque inftant par ce corps. Car, fuppofez que ce corps defcendît de cette même hauteur dans le même temps, il feroit aifé de trouver quel eft l'efpace parcouru à chaque inftant : en prenant ces efpaces dans un ordre renverfé, ils feront les mêmes que ceux que l'on cherche. Suppofez, par exemple, qu'un corps jeté perpendiculairement monte à une hauteur de 240 pieds pendant le temps de 4 fecondes ; & que l'on cherche quels font les efpaces qui font parcourus dans les différens temps de cette afcenfion. Si le corps étoit defcendu, l'efpace parcouru dans la premiere feconde auroit été 15 pieds (204) ; dans la feconde fuivante, 45 pieds ; dans la troifieme feconde, 75 pieds ; dans la quatrieme, 105 pieds (216). Par conféquent l'efpace parcouru en remontant fera, dans la premiere feconde, 105 pieds ; dans la feconde fuivante, 75 pieds ; dans la troifieme, 45 pieds ; & dans la quatrieme, 15 pieds. Alors le corps

corps recommenceroit à descendre comme ci-dessus.

254. D'où il suit qu'un corps qui s'éleve avec une certaine vîtesse, monte à une hauteur égale à celle d'où il faut qu'il tombe, pour acquérir, par l'accélération de sa chûte (216), la vîtesse initiale avec laquelle il a monté.

255. Donc, réciproquement, un corps qui tombe, acquiert, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse capable de le faire remonter à la hauteur d'où il est tombé. Et comme la vîtesse des corps qui tombent obliquement ou par des plans inclinés, est accélérée suivant les mêmes loix & proportions, que lorsque la pesanteur agit seule (233), il importe peu dans quelle direction se fassent & la chûte & l'ascension.

256. Ainsi, quoique la vîtesse d'un corps qui descend par un plan incliné, soit toujours moindre que celle du même corps qui tomberoit perpendiculairement (232), il est cependant vrai (& l'expérience le prouve) qu'à chaque point de sa chûte oblique, sa vîtesse acquise est égale à celle qu'il auroit, s'il étoit tombé perpendiculairement d'une hauteur semblable : la seule différence qu'il y a, c'est qu'il lui faut plus de temps pour acquérir cette vîtesse par une chûte oblique, que par une chûte perpendiculaire. Si un corps descend par le plan incliné *a d* (*fig.* 28), ou successivement par *Fig.* 28.

les trois plans différemment inclinés, *a b*, *b c*, *c d*; ou par l'arc de cercle *a b c o d*; ou par la courbe *m n o d*, il a, lorsqu'il est arrivé en *d*, une vîtesse acquise, égale à celle qu'il auroit, s'il étoit tombé perpendiculairement de la hauteur *h d* : & cette vîtesse est capable de le faire remonter jusqu'en *g*, hauteur égale à celle de *h* ou de *m* & *a*, points d'où le corps est supposé parti (255). Il est vrai qu'il lui faut plus de temps pour acquérir cette vîtesse: car il tombe plus vîte par la ligne verticale *h d*, que par la courbe *m n o d*; plus vîte par cette courbe, que par l'arc de cercle *a b c o d*; plus vîte par cet arc de cercle, que par les trois plans différemment inclinés *a b*, *b c*, *c d*; plus vîte par ces trois plans, que par le plan unique *a d*, quoique ce plan unique soit un chemin plus court que les trois autres. En voici la raison.

257. Si le corps parcourt les trois plans inclinés *a b*, *b c*, *c d*, en les parcourant, il sera soutenu successivement sur des plans d'autant plus inclinés, qu'il approchera davantage du terme de sa chûte *d*: & il est évident, après ce que nous avons dit ci-dessus (235), que si l'effort de la pesanteur étoit uniforme, il mettroit plus de temps à parcourir le plan *c d*, qu'il n'en mettroit à parcourir le plan *a b*, parce que ce premier plan est plus incliné que l'autre. Mais, à cause de l'accélération de la chûte (233), lorsque le corps se trouve en *c*, après avoir

parcouru les deux plans *a b*, *b c*, il a des vîtesses acquises qu'il n'auroit pas, s'il commençoit à tomber du point *c*; & ces vîtesses sont d'autant plus grandes, que le commencement de la chûte a été plus prompt. Or ce commencement est d'autant plus prompt, que le premier plan parcouru est moins incliné, ou fait avec la verticale un angle plus aigu (235). Il est aisé de voir, par la figure, que le premier élément de l'arc de cercle *a b c o d* fait avec la verticale *a p* un angle plus aigu que celui que fait avec la même verticale le plan incliné *a b*; le commencement de la chûte est donc plus prompt par l'arc que par le plan : voilà pourquoi le corps tombe plus vîte par l'arc *a b c o d*, que par les trois plans *a b*, *b c*, *c d*. Par la même raison, le plan *a b* faisant avec la verticale *a p* un angle plus aigu que celui que fait avec la même verticale le plan *a d*, le corps tombe plus vîte par les trois plans *a b*, *b c*, *c d*, que par le plan unique *a d*, quoique ce dernier chemin soit plus court. C'est encore la raison pour laquelle le corps tombe plus vîte par la courbe *mnod*, que par l'arc *abcod*; car le premier élément *m* de cette courbe fait avec la verticale *m r* un angle plus aigu, que celui que fait le premier élément *a* de l'arc avec la verticale *a p*. Cette courbe *m n o d* est appelée *Cycloïde*; elle est fameuse en mécanique, par l'usage qu'en fit *Huyghens*, lorsqu'il

appliqua le pendule aux horloges (266). Elle est aussi appelée la *Courbe de la plus prompte descente*. Elle est formée par la révolution d'un point de la circonférence d'un cercle, qui se développe sur une ligne droite.

Mouvement d'Oscillation.

258. Ceci nous conduit à parler du mouvement d'*Oscillation*; car le corps qui oscille, le fait en vertu de sa pesanteur.

On appelle *Oscillation* ou *vibration du pendule* le mouvement d'un corps lourd, attaché, par un fil ou par une verge, à un point fixe autour duquel
Fig. 29. il décrit un arc. Tel est le corps A (*fig.* 29) attaché au point fixe C, par le fil CE, & qui décrit l'arc BAD. La vraie cause de ce mouvement est la pesanteur du corps A : car si l'on porte ce corps de A en B, & qu'on l'abandonne à lui-même, en vertu de sa pesanteur, il tomberoit suivant la direction BH perpendiculaire à l'horizon (202); mais étant retenu, par le fil C*e*, à une distance toujours égale du point C, il ne peut descendre qu'en décrivant l'arc BA. Lorsqu'il est arrivé au point le plus bas en A, il a acquis, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse égale à celle qu'il auroit acquise en tombant verticalement de la hauteur IA (256), laquelle est capable de le porter, dans un temps égal à celui de sa chûte, à

une hauteur égale à celle d'où il est descendu (255) : il se porte donc en D, en décrivant l'arc AD, sa vîtesse retardant à chaque instant dans la même proportion que celle dans laquelle elle a été accélérée en descendant (253). Arrivé au point D, il ne peut pas aller plus loin, parce qu'il a consommé tout son mouvement (253). Il ne peut pas demeurer là, parce que sa pesanteur le sollicite à descendre ; & comme il est dans le même cas où il étoit au point B, il retourne de D en A & de A en B ; & ainsi de suite pour les oscillations suivantes. De sorte que, si ce corps n'éprouvoit point de résistance de la part de l'air (84), & qu'il n'y eût point de frottement au point de suspension C (96), ce mouvement seroit perpétuel. Il ne cesse donc que par ces causes, qui, quoiqu'accidentelles, sont cependant inévitables dans la Nature.

259. Le corps A suspendu par le fil CE au point fixe C, autour duquel il peut décrire des arcs plus ou moins grands, tels que BD, FG, &c. est ce qu'on appelle un *Pendule*. Le centre de gravité du corps A, qui décrit les arcs, se nomme *Centre d'oscillation* ; & le point fixe C s'appelle *Centre de mouvement*.

260. On distingue deux sortes de pendules ; le simple & le composé. Le pendule simple seroit celui dont le fil de suspension n'auroit aucune pesanteur, & dont le corps lourd A ne peseroit

que, par un seul point, appelé son centre de gravité (259), comme si, par exemple, toute sa pesanteur résidoit au centre. Le pendule composé est celui qui pese par plusieurs points : & c'est-là le cas ordinaire, puisque la verge de suspension est ordinairement de métal ; & quand elle seroit de bois ou de quelque autre matiere, ce seroit le même cas, car elle ne seroit pas sans pesanteur. D'où l'on doit conclure que tous nos pendules sont composés. Cependant la plupart des choses que nous avons à dire sur le pendule, doivent s'entendre du plus simple.

261. La durée de chaque vibration d'un pendule se déduit de la longueur de ce pendule, c'est-à-dire, de l'intervalle qu'il y a entre son centre de mouvement & son centre d'oscillation (259). Car nous avons prouvé ci-dessus (247) qu'un corps emploie, pour descendre obliquement par une corde quelconque d'un cercle, un temps égal à celui qu'il emploie à tomber verticalement par le diametre entier de ce même cercle. Mais un pendule CB descend par l'arc BFA (258), & non pas par la corde BA ; & sa chûte par l'arc est plus prompte que par la corde (256 & 257). S'il suivoit la corde, il emploieroit donc, à faire sa demi-vibration, un temps égal à celui qu'il lui faudroit pour tomber verticalement par le diametre d'un cercle, dont sa longueur CA

eſt le rayon : mais il y a une proportion réglée entre la chûte par l'arc & la chûte par la corde : elle eſt, à très-peu de choſe près, comme 51 à 65. Il y a donc la même proportion entre la chûte par l'arc & la chûte par le diametre, lequel eſt déterminé par la longueur du pendule.

261. D'où il ſuit qu'un pendule dont la longueur eſt conſtante, doit faire toutes ſes vibrations, grandes ou petites, iſochrones ou de même durée, dans le même lieu : c'eſt donc l'inſtrument le plus propre à meſurer des temps égaux. *Galilée*, qui le premier a fait des recherches ſur le mouvement du pendule, s'en eſt ſervi avec beaucoup de ſuccès pour ſes obſervations & ſes expériences ; ce qui lui a valu une exactitude & une préciſion qu'il auroit eu bien de la peine à ſe procurer autrement. La durée de la demi-vibration d'un pendule qui bat les ſecondes à Paris & aux environs, eſt la même que celle d'une chûte perpendiculaire de 3 pieds 9 pouces dans les mêmes lieux (216) ; & par conſéquent la même que celle de la chûte par une corde quelconque d'un cercle de 3 pieds 9 pouces de diametre (247). Cependant le diametre du cercle dont ce pendule à ſecondes décrit l'arc, eſt de 6 pieds 1 pouce $5\frac{4}{10}$ lignes ; car, ſuivant M. *de Mairan*, un tel pendule doit avoir à Paris pour longueur 3 pieds $8\frac{17}{30}$ lignes. Si donc ce pen-

dule, au lieu de parcourir l'arc, parcouroit la corde, la durée de sa demi-vibration seroit de plus d'une demi-seconde; elle seroit, comme nous venons de le dire (261), plus longue que par l'arc dans la proportion de 65 à 51.

263. Si ce pendule étoit ou plus court ou plus long, la durée de ses vibrations seroit de même ou plus courte ou plus longue; parce qu'il répondroit à une chûte verticale ou plus petite ou plus grande, puisque sa longueur est toujours le rayon du cercle dont le diametre mesure la hauteur de cette chûte verticale. Les durées des vibrations de pendules de différentes longueurs sont entre elles en raison sous-doublée de leurs longueurs, ou comme les racines quarrées de ces longueurs, à cause de l'accélération de la chûte des corps; car un corps qui tombe, parcourt, dans le second instant, un espace triple de celui qu'il a parcouru dans le premier (216). C'est pourquoi, pour qu'un pendule mesure des temps doubles, il faut lui donner une longueur quadruple. Un pendule, dont la durée d'une vibration est à Paris d'une seconde, a pour longueur 3 pieds 8 $\frac{17}{30}$ lignes : pour que cette durée soit de deux secondes, il faut lui donner une longueur de 12 pieds 2 pouces 10 $\frac{8}{10}$ lignes. Telle est la longueur du pendule de l'horloge de l'Hôtel de Ville de Paris. Et pour que la durée

d'une vibration d'un pendule ne ſoit que d'une demi-ſeconde, il faut que ſa longueur ne ſoit que le quart de celle du pendule qui bat les ſecondes, c'eſt-à-dire, que cette longueur ne ſoit que de 9 pouces $2\frac{17}{110}$ lignes. Telle eſt la longueur des pendules des horloges à demi-ſecondes.

264. Cette longueur du pendule, dont nous venons de parler, n'eſt pas égale à la longueur totale de l'inſtrument appelé *Pendule* : elle eſt égale à la diſtance qu'il y a entre ſon centre d'oſcillation & ſon centre de mouvement (259). Le centre de mouvement eſt le point de ſuſpenſion : & le centre d'oſcillation eſt un point qui, étant pris dans la ligne de ſuſpenſion d'un pendule compoſé, ſoit tel que, ſi toute la gravité du pendule, ſuppoſé oſcillant, s'y trouvoit raſſemblée, les oſcillations ſe feroient dans un temps égal à celui qu'emploie ce pendule compoſé à faire les ſiennes. Dans un tel pendule, ce point ſe trouve, dans tous les cas, au deſſous du centre de gravité. Les oſcillations de ce pendule ſont toujours égales en durée à celle d'un pendule ſimple (260), qui auroit pour longueur la diſtance de ce centre d'oſcillation au point de ſuſpenſion ou centre de mouvement. Ainſi, chercher le centre d'oſcillation d'un pendule compoſé, c'eſt donc toujours chercher la longueur du pendule ſimple qui feroit ſes vibrations dans le

même temps que le pendule composé. Pour trouver la longueur de ce pendule simple, on peut faire usage de ce que nous avons dit ci-dessus (261, 262, 263). Si l'on est curieux de voir ce qui a été fait de mieux, relativement à la recherche du centre d'oscillation, on le trouvera dans un Mémoire de feu M. *Bernoulli*, de l'Académie des Sciences de Paris, & Professeur à Bâle, imprimé parmi ceux de l'Académie, pour l'année 1703, *pag.* 78.

265. Nous avons dit ci-dessus (262) que *Galilée* s'étoit servi avec succès du pendule, pour mesurer des temps égaux. Mais la maniere dont il en a fait usage, demandoit trop de soins, pour que cet instrument fût à la portée de tout le monde. Il falloit ranimer le mouvement, qui étoit à chaque instant ralenti par la résistance de l'air : de plus, il falloit compter les vibrations l'une après l'autre, pour en avoir la somme. *Huyghens* a fait du pendule une application beaucoup plus utile, & dont tout le monde peut profiter, en le joignant aux horloges pour régler leur mouvement. Ces sortes de machines sont, comme l'on sait, animées par un ressort ou par un poids qui met en mouvement plusieurs roues, par le moyen desquelles les aiguilles parcourent les graduations du cadran. Pour empêcher ce mouvement de se précipiter, il est retenu par un

modérateur : tel est encore le balancier dans les montres de poche. C'est donc à ce modérateur imparfait que *Huyghens* a substitué le pendule, en l'adaptant à la piece d'échappement, qui est celle qui regle le mouvement de toutes les roues; afin que ces vibrations, dont la durée est toujours égale (262), tant que sa longueur demeure la même, pussent rectifier les petites irrégularités de la machine.

266. On remarqua ensuite que les oscillations d'un pendule, qui se font par des arcs plus ou moins grands, quoique d'un même cercle, ne sont pas d'une durée parfaitement égale : celles qui se font dans de grands arcs, y emploient des temps plus longs : les différences, à la vérité, sont insensibles, quand on ne les considere que pendant un temps court & pour un petit nombre de vibrations : mais elles deviennent très-sensibles quand elles sont accumulées pendant un temps plus considérable, ou que les arcs different sensiblement en amplitude. C'est ce qui engagea *Huyghens* à chercher une courbe d'oscillation dans laquelle il fût absolument indifférent que le pendule mesurât de grands ou de petits arcs. Il trouva que la cycloïde avoit la propriété qu'il cherchoit (1), & il la substitua au cercle. Pour

(1) Histoire de l'Acad. des Scienc. année 1700, p. 140.

cela, il rendit flexible la partie supérieure CM
Fig. 30. (*fig.* 30.) de la verge du pendule CA, & plaça de chaque côté du centre C du mouvement, une portion de cycloïde CE & CF, dont le cercle générateur H avoit pour diametre la moitié de la longueur du pendule CA (257). Moyennant cela, lorsque le pendule fait ses oscillations, la partie flexible CM de sa verge est contrainte de s'envelopper alternativement sur les deux portions de cycloïde CE & CF; ce qui rapproche le corps A du centre C de mouvement, & ce qui l'oblige de se mouvoir dans l'arc de cycloïde EAF, & non pas dans l'arc de cercle BAD. Or la cycloïde est une courbe d'une nature telle, qu'un pendule qui s'y meut, arrive toujours dans des temps égaux au point A le plus bas, quelle que soit la hauteur d'où il commence à tomber; de maniere que toutes ses vibrations, grandes ou petites, sont parfaitement isochrones ou d'égale durée.

267. Cette invention, quoique très-ingénieuse, n'a pas été d'un long usage. La grande difficulté qu'il y a de former des arcs cycloïdaux bien exacts, & l'inconvénient de rendre flexible la partie supérieure de la verge, l'ont fait abandonner très-promptement; d'autant mieux qu'on a remarqué que le cercle & la cycloïde se confondent presque dans la partie inférieure GI: de maniere

qu'en ne faisant décrire par le pendule que des arcs d'une très-petite étendue, il est presque égal de lui faire faire ses oscillations dans le cercle ou dans la cycloïde. C'est en effet le parti que l'on a pris depuis dans l'horlogerie. Il faut cependant avouer que ces petits arcs, quelque peu étendus qu'ils soient, n'équivalent pas aux arcs de cycloïde; car quand ils deviennent plus ou moins étendus dans un temps que dans un autre (ce qui ne manque pas d'arriver de temps en temps par une cause que j'ignore), cela influe toujours sur le mouvement de la machine : quand ils prennent plus d'amplitude, l'horloge retarde toujours; quand ils en prennent moins, elle avance, quoique le corps qui oscille, ne s'éleve que d'un degré par son mouvement moyen : ainsi la cycloïde seroit préférable au cercle, sans les inconvéniens dont nous venons de parler.

268. Nous avons dit (262) que toutes les vibrations d'un pendule sont de même durée tant que sa longueur est la même : il faut ajouter à cela que c'est à condition que ce sera dans le même lieu, ou du moins dans un lieu d'une latitude semblable, puisque les pendules tombent d'autant plus lentement que la latitude du lieu est moindre, comme nous l'avons prouvé ci-dessus (212), d'après l'expérience faite à Caïenne en 1672, par M. *Richer*. Pour que plusieurs pen-

dules, placés en différens lieux, mesurent tous des temps égaux, il faut donc qu'ils aient plus de longueur vers les pôles que vers l'équateur. Voyez, au *N*°. 264, ce qui mesure cette longueur. Je sais bien qu'on peut objecter que la chaleur qui regne à Caïenne avoit alongé le pendule, ce qui lui faisoit mesurer des temps plus longs : cet effet de la chaleur y contribue sans doute ; mais il n'est pas suffisant, car un pendule qui bat les secondes à Paris, seroit de 1 $\frac{1}{4}$ ligne trop long près de l'équateur ; & l'expérience prouve que la chaleur de l'eau bouillante (bien supérieure à celle qui regne dans l'air à Caïenne) n'alonge que d'un tiers de ligne une verge de pendule. Il faut donc qu'à la chaleur se joigne une autre cause ; & c'est la force centrifuge.

269. Un pendule ne peut mesurer des temps égaux dans le même lieu, qu'autant que sa longueur demeure constamment la même (263) : mais la chaleur, dont nous venons de parler, fait continuellement varier cette longueur. Tous les corps changent de dimensions par le chaud & le froid (1134) : la même chose arrive à la verge du pendule. La chaleur la fait alonger, le froid la raccourcit. On a pensé à remédier à cet inconvénient, en opposant à elle-même la cause physique d'où il procede ; c'est-à-dire, en faisant en sorte que la même chaleur qui fait

alonger la verge du pendule, fasse aussi remonter d'autant le centre d'oscillation du même pendule, afin qu'il demeure toujours la même distance entre ce dernier point & le centre de mouvement ou le point de suspension, puisque c'est cette distance qui détermine la longueur du pendule (264). M. *Graham*, fameux Horloger de Londres, est le premier à qui cette idée s'est offerte, & qui a commencé à la mettre en exécution, en substituant, à la lentille du pendule, un vase cylindrique presque plein de mercure, lequel mercure, étant soutenu sur le fond du vase, porte sa raréfaction vers le haut, & fait ainsi remonter le centre d'oscillation, à mesure que ce même centre descend par l'alongement de la verge. Ensuite M. *Julien le Roy*, à Paris, & M. *Ellicot*, à Londres, ont fait usage, pour parvenir au même but, d'un moyen plus commode. Ils ont employé tous deux, quoique par des procédés différens, l'excès de l'alongement du cuivre sur celui de l'acier par le même degré de chaleur (1138). C'est ce que l'on fait à présent dans l'Horlogerie. La maniere la plus simple & la plus usitée, est celle qui suit. La verge C*b* (*fig.* 31.) qui porte le corps grave O, que l'on appelle *Lentille*, parce qu'on lui en donne ordinairement la forme, laquelle verge est d'acier, & composée de deux pieces séparées C*a* & *ab*. La piece supérieure C*a* *Fig.* 31.

eſt fixée à un châſſis composé de deux traverſes de cuivre jaune *df*, & *eg*, & de deux verges d'acier *de* & *fg*. La pièce inférieure *ab* eſt attachée, par le moyen d'une goupille, à la petite traverſe de cuivre *kh*, & gliſſe librement dans un trou pratiqué à la traverſe inférieure *eg*: *kl* & *hi* ſont deux verges de cuivre jaune, fixées à demeure ſur la traverſe inférieure *eg*, & dont les extrémités ſupérieures s'appliquent deſſous la traverſe *kh*. Si la chaleur vient à raréfier tout cet aſſemblage, la verge C*ab* du pendule s'alonge; ce qui fait éloigner la lentille O du point de ſuſpenſion C; mais la même chaleur alongeant les deux verges de cuivre *kl* & *hi* plus qu'elle n'alonge les deux verges d'acier correſpondantes *de* & *fg*, l'excès de l'alongement du cuivre (qui ne peut pas ſe porter en bas) fait remonter la traverſe *kh* vers la traverſe *df*; ce qui fait rapprocher la lentille O du point de ſuſpenſion C. Si le tout eſt bien proportionné, la lentille remonte autant par l'excès de l'alongement du cuivre, qu'elle deſcend par l'alongement de l'acier; &, par ce moyen, le centre d'oſcillation O ſe trouve toujours également diſtant du centre de mouvement C. Pour que la proportion ſoit exacte comme elle doit l'être, il faut que la longueur de chaque verge de cuivre ſoit à la longueur du pendule, comme la raréfaction de l'acier eſt à celle

celle du cuivre jaune, c'est-à-dire qu'il faut que les longueurs de ces verges de métal soient en raison inverse de leurs raréfactions. La raréfaction de l'acier est à celle du cuivre jaune, suivant M. *Berthoud*, Horloger, comme 74 est à 121, ce qui est, à très-peu de chose près, comme 3 est à 5.

Mouvement de Projection.

270. Tous les corps jetés ou lancés hors de la perpendiculaire à l'horizon, se meuvent d'un mouvement composé de deux forces; savoir, la force de la pesanteur, & la force qui les lance, que l'on nomme ordinairement *force projectile.* Telle est, par exemple, l'impulsion du bras qui jette une pierre, ou celle de la poudre qui chasse une bombe ou un boulet. La force projectile feroit uniforme, c'est-à-dire qu'elle feroit parcourir au mobile des espaces égaux en temps égaux, si la résistance des milieux (76 *& suiv.*) & des frottemens (96 *& suiv.*) n'y mettoit pas d'obstacles. Quoique ces obstacles soient inévitables, nous en ferons cependant abstraction, parce qu'il est plus simple & plus facile de faire connoître ce qui seroit, si ces obstacles n'existoient pas, que de dire exactement ce qui arrive dans l'état naturel.

271. Nous avons vu quelle est la direction de

la pesanteur (202), ainsi que son intensité ou la quantité de son action sur les corps (203 *& suiv.*). Si l'on connoît la direction & l'intensité de la force projectile, pour connoître l'effet du mouvement composé de ces deux forces, il suffira d'y appliquer les regles du mouvement composé en ligne courbe, que nous avons établies ci-dessus (168 *& suivant.*) : les résultats y seront conformes. Je dis, les regles du mouvement composé en ligne courbe ; parce qu'ici les puissances changent de rapports entre elles : car la force projectile est uniforme de sa nature, & la force de la pesanteur est accélératrice.

272. Si la direction de la force projectile tend de bas en haut & qu'elle soit perpendiculaire à l'horizon, elle est directement opposée à la direction de la pesanteur (202) : le mouvement du mobile sera donc l'effet de la force projectile, moins celui de la pesanteur ; & le mouvement demeurera simple ; mais la vîtesse sera moindre que ne l'exige la force projectile (252). Il arrive à ce mobile ce qui arriveroit à un corps qui remonteroit en vertu des vîtesses qu'il auroit acquises par une chûte accélérée (254) ; c'est-à-dire que ce mobile monte à une hauteur égale à celle d'où il faudroit qu'il tombât, pour acquérir, par l'accélération de sa chûte, une vîtesse égale à celle avec laquelle il a commencé à monter.

273. Si la direction de la force projectile est horizontale, le mobile se comporte suivant la regle établie ci-dessus (168), & décrit une courbe M*abcdef* (*fig.* 16.) qui seroit parabolique, si la force projectile étoit parfaitement uniforme, & que la force de la pesanteur fût exactement accélérée. Fig. 16.

274. Si la direction de la force projectile tend de haut en bas, mais obliquement à l'horizon, le mobile se comporte encore suivant la regle établie (168); & il décrit une courbe de la nature de la précédente, qui n'est qu'une demi-parabole.

275. Enfin, si la direction de la force projectile tend de bas en haut & obliquement à l'horizon (& c'est le cas le plus ordinaire), le mobile décrit alors une parabole entiere. Car supposons que le mobile M (*fig.* 32.) soit lancé directement au point P par une force projectile; si l'on retranche de l'élévation de cette tendance, pendant une suite d'instans égaux, autant de parties qui expriment les effets de la pesanteur, en augmentant entre elles comme le quarré des temps (216); c'est-à-dire que la ligne qui exprime l'effet de la pesanteur au second temps soit 4 fois aussi longue que celle qui l'exprime au premier temps; que celle qui l'exprime au troisieme temps soit 9 fois aussi longue, &c. les Fig. 32.

extrémités *b*, *r*, *f*, *q*, de toutes ces lignes *ab*; *dr*, *ef*, P*q*, qui expriment les retranchemens causés à l'effet de la force projectile par la pesanteur, donneront la courbe M*brfq*, c'est-à-dire, deux demi-paraboles semblables qui se joignent au sommet *r*.

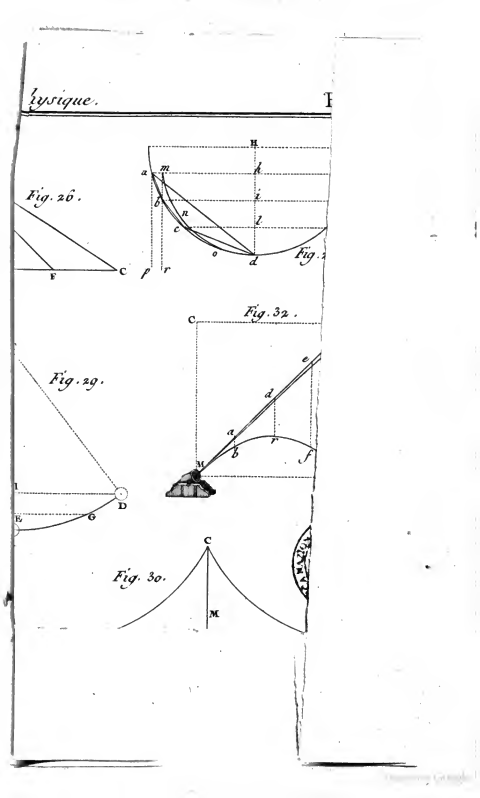
276. C'est là-dessus qu'est fondée toute la science de la Balistique ou de l'Art de mesurer le jet d'une bombe ou d'un boulet. Cet Art consiste donc dans la combinaison de la force projectile & de la pesanteur du mobile. Toutes ces courbes, que décrivent les mobiles en pareils cas, ont d'autant plus d'amplitude, que la force projectile est plus grande : &, toutes choses égales d'ailleurs, la plus grande amplitude M*q* a lieu, lorsque l'angle d'élévation PM*q* est de 45 degrés : & les amplitudes répondantes aux angles d'élévation également distans de 45 degrés, sont égales; car l'amplitude est toujours comme le sinus du double de l'angle d'élévation. Voilà pourquoi l'amplitude qui répond à l'angle de 45 degrés, est la plus grande de toutes ; car le sinus du double de 45 degrés est le sinus de 90 degrés ou le sinus total, qui est le plus grand de tous.

C'est précisément cette amplitude qu'il importe de connoître, pour pouvoir sûrement atteindre le but qu'on se propose; & c'est-là le point de

la difficulté, sur-tout s'il s'agit du jet d'une bombe ou d'un boulet. Car, pour connoître l'amplitude de la parabole que décrit le mobile, il faut connoître la valeur de la force projectile : mais cette force projectile vient alors de l'explosion de la poudre; & c'est une chose très-difficile que d'estimer avec quelque justesse la valeur de cette impulsion. Elle dépend principalement de la qualité de la poudre, & de la quantité, non pas que l'on y emploie, mais qui s'enflamme avant le départ de la bombe ou du boulet. Car l'expérience a fait voir qu'il y a toujours une partie de la poudre qui ne s'enflamme point; & cette partie n'est pas toujours proportionnelle à la quantité employée : cela dépend de plusieurs circonstances, qu'il est difficile de rendre toujours les mêmes, comme de la longueur du canon ou du mortier, du poids de la bombe ou du boulet, de la force avec laquelle la charge a été bourrée, &c. Ainsi une des quantités les plus essentielles à connoître, pour juger de l'amplitude de la parabole, est sujette à beaucoup de variations. De plus, dans tout ce que nous venons de dire, nous avons fait abstraction de la résistance des milieux & de celle des frottemens (270) : il faut cependant les compter pour quelque chose; elles influent sur le mouvement du mobile : le boulet frotte contre les parois intérieures du canon, & en-

ſuite eſt obligé de fendre l'air & de le déplacer ; ce qui lui fait perdre une partie de ſa vîteſſe. La force projectile n'eſt donc plus uniforme ; & l'effort de la peſanteur donne une vîteſſe moins accélérée qu'il n'auroit fait ſans ces obſtacles. C'eſt pourquoi, s'il eſt eſſentiel de s'inſtruire des principes, il n'eſt pas moins néceſſaire de s'exercer à la pratique.




Fig. 26.
C
F
H
a
m
h
b
i
n
c
l
o
d
p
r
Fig. 32.
C
e
d
a
r
b
f
M
Fig. 29.
I
D
E
G
C
Fig. 30.
M

CHAPITRE VIII.

De l'Hydrodynamique.

277. L'HYDRODYNAMIQUE est une ſcience qui a pour objet la peſanteur & l'équilibre des fluides, & le mouvement des fluides. On voit, par cette définition, que l'hydrodynamique comprend l'hydroſtatique & l'hydraulique.

L'hydroſtatique conſidere l'équilibre des fluides en repos : en détruiſant cet équilibre, il en réſulte un mouvement ; & c'eſt là où commence l'hydraulique.

De l'Hydroſtatique, ou de la Peſanteur & de l'Equilibre des Fluides.

278. On appelle *Hydroſtatique*, la ſcience qui a pour objet la peſanteur & l'équilibre des fluides, ainſi que la maniere dont ſe mettent en équilibre dans ces fluides les corps qui y ſont plongés. *Archimedes* eſt, parmi les Anciens, celui qui a fait le plus de progrès dans cette ſcience. On lui fait encore honneur aujourd'hui de la maniere ingénieuſe par laquelle il reconnut qu'une couronne d'or n'étoit pas au titre auquel elle devoit être, en la peſant hydroſtatiquement. Parmi les

Modernes, c'eſt à *Galilée*, *Toricelli*, *Deſcartes*, *Paſcal*, *Guglielmini*, & *Mariotte* que nous ſommes redevables des plus belles connoiſſances dans cette matiere; & leurs expériences, auſſi convaincantes que curieuſes, nous ont mis en état de ſavoir ce que nous devons attendre ou craindre de la force des eaux qui agiſſent par leur poids; & comment nous pouvons l'employer utilement pour nous, par le moyen des machines hydrauliques.

279. Nous avons dit ci-devant (226) que la force qui fait tomber les corps vers la terre, eſt la ſeule cauſe de leur poids; & que c'eſt par les efforts que ces corps font ſans ceſſe pour obéir à cette force, qu'ils peſent ſur les obſtacles qui les retiennent. Les fluides qui, comme les corps ſolides, ſont commandés par la peſanteur, font précisément la même choſe : ils peſent ſur tous les obſtacles qui s'oppoſent à leur chûte. Mais, à cauſe de leur fluidité, ils peſent différemment des corps ſolides; & il en réſulte des phénomenes tout-à-fait particuliers, & qu'il nous eſt important de connoître.

280. Les fluides ſont des ſubſtances dont les parties ſont mobiles entre elles, n'ont point ou preſque point de cohéſion les unes aux autres, & ſe meuvent indépendamment les unes des autres. Dans cette définition ſont compris les fluides groſſiers, tels, par exemple, qu'un tas de blé, un

tas de ſablon, &c. & les fluides déliés, tels que l'air & les autres fluides aériformes. On peut auſſi y comprendre les liqueurs; car toutes les liqueurs ſont des fluides; mais tous les fluides ne ſont pas néceſſairement liqueurs. Pour qu'un fluide ſoit liqueur, il faut que ſes molécules ſoient extrêmement petites, & puiſſent ſe mouvoir indépendamment les unes des autres avec aſſez de liberté, pour que celles de la ſurface ſupérieure ſe placent toutes dans un plan parallele à l'horizon; tel eſt du vin, de l'eau, &c. Il n'en eſt pas ainſi des fluides groſſiers : l'enſemble forme un cône plus ou moins écraſé, ſuivant qu'il s'éloigne plus ou moins de la parfaite fluidité. Mais les fluides déliés, dont la fluidité égale celle des liqueurs, ſe comportent comme elles dans leur peſanteur & leur équilibre : ils ſuivent les mêmes loix. Il ne ſera donc ici queſtion que de ces fluides déliés & des liqueurs.

281. Tout ce qui eſt liquide ne l'eſt pas également; c'eſt pourquoi ce qu'exigent les loix de l'hydroſtatique, que nous allons établir, s'exécute d'autant moins exactement, que ces ſubſtances s'éloignent davantage de la parfaite liquidité. L'eau & l'huile ſe répandent, ſi les vaſes qui les contiennent ſe renverſent ou ſe caſſent; mais l'effuſion de l'huile eſt plus lente que celle de l'eau, parce que les particules de l'huile ont entre elles

plus de cohésion, que n'en ont celles de l'eau. C'est principalement de l'extrême petitesse des molécules des liqueurs & des fluides déliés, & de leur très-grande mobilité, que dépendent les effets les plus singuliers de l'hydrostatique.

282. Pour faciliter l'intelligence de cette matiere, nous la diviserons en trois parties. Dans la premiere, nous examinerons de quelle maniere s'exerce la pesanteur d'un fluide seul, & dont toutes les parties sont homogenes, ou peuvent être considérées comme telles. Dans la seconde, nous verrons comment pesent & se mettent en équilibre ensemble plusieurs fluides dont les densités sont différentes. Dans la troisieme, nous examinerons comment les corps solides se mettent en équilibre avec les fluides dans lesquels on les plonge.

Pesanteur & Equilibre d'un fluide seul & homogene.

283. Nous avons à examiner ici la maniere dont une liqueur, ou en général un fluide, pris séparément & sans comparaison avec d'autres, exerce sa pesanteur sur les obstacles qui le retiennent, & comment il se met en équilibre avec lui-même.

284. *Les parties d'une même liqueur exercent leur pesanteur indépendamment les unes des autres.* Cette propriété vient de ce qu'elles n'ont

presque point de cohésion entre elles. Ce qui est très-différent de la maniere de peser des corps solides ; leurs parties étant adhérentes entre elles, elles pesent toutes en commun. Aussi le choc d'un corps solide est-il très-différent de celui d'une liqueur. On craint la chûte d'un glaçon d'une livre, qui tomberoit sur la tête ; & l'on n'a pas peur d'être blessé par une livre d'eau. Cette derniere substance, en avançant, se divise par la résistance de l'air, qui retarde les parties plus les unes que les autres ; & la vîtesse de la masse totale est encore plus retardée, à cause de cette division, qu'elle ne l'eût été sans cela. Ainsi divisée, elle s'applique à une plus grande surface ; ce qui partage son effort : au lieu qu'un solide ne frappe qu'un petit espace, qui reçoit l'effort entier. C'est pourquoi un corps anguleux qui tombe sur la tête, fait plus de mal qu'un corps plat de même poids, & qui tombe de même hauteur.

285. Il suit de ce principe, que, si à un vase plein d'une liqueur on fait un trou dans le bas ; pour empêcher l'écoulement de cette liqueur, on n'a à vaincre que le poids de la colonne de liqueur qui répond au trou ; & que ce poids à vaincre est le même, soit qu'il n'y ait réellement que cette colonne de liqueur, soit que le vase en soit plein.

Expérience. Soit le vase cylindrique de verre

Fig. 33. AB (*fig.* 33), percé à son fond d'un trou C; garni d'une virole cylindrique de cuivre D d'un pouce de diametre, que l'on bouche avec un piston G bien ajusté à la virole & bien graissé, afin qu'il puisse céder à une médiocre pression. Ce piston est porté par une petite tige GH, attachée en H à une soie qui enveloppe la portion de poulie M, dont est garnie l'extrémité du levier MN qui a son centre de mouvement en L. L'autre portion de poulie N qui termine l'autre extrémité du levier, est aussi enveloppée d'une soie qui porte un petit bassin I. Sur la virolle D s'ajuste un tube cylindrique de verre FE, dont le diametre intérieur est égal à celui de la virolle, & dont la hauteur, lorsqu'il est en place, égale celle du vase AB. Le tout ainsi disposé, on remplit d'eau le tuyau EF; & l'on met dans le bassin I des poids tels qu'ils puissent être enlevés par le poids de la colonne d'eau, lorsque le tube est plein; & en même temps tels qu'ils empêchent le piston & la colonne d'eau de descendre, s'il s'en faut seulement d'un demi-pouce que le tuyau EF ne soit plein. Ensuite on ôte le tuyau EF; on met le piston G dans la virole D; & l'on verse de l'eau dans le vase. On observe que les poids & le bassin I ne sont enlevés que lorsque le vase AB est entiérement plein. Donc on n'a que le même poids à vaincre, soit qu'il n'y ait sur le piston G qu'une

colonne d'eau grosse comme lui, soit que le vase AB en soit plein. Donc, dans ce dernier cas, cette colonne exerce sa pesanteur indépendamment du reste.

286. Pour rendre raison de ceci, figurons-nous toute la masse d'eau, contenue dans un vase, divisée en plusieurs colonnes, 1, 2, 3, 4, 5, (*fig.* 34) dont chacune est composée d'un égal nombre de parties. Si le fond du vase, qui sert de base & d'appui à toutes ces colonnes, vient à s'ouvrir en *a*, la colonne 3, n'étant plus soutenue, tombera par l'ouverture, en glissant entre les deux colonnes 2 & 4, qui sont soutenues par les parties *b* & *c* du fond du vase, & dont toutes les parties mobiles deviennent autant de petits rouleaux, qui, n'occasionnant qu'un frottement de la seconde espece (97), ne retardent pas beaucoup sa chûte. Cet effet résulte de leur peu de cohésion entre elles (280). Si les colonnes 1 & 2 d'une part, & 4 & 5 d'autre part, étoient composées de parties adhérentes entre elles, elles demeureroient de toute leur longueur, tel que le feroient, par exemple, des bougies; & par la chûte de la colonne 3, il se feroit un vide entre elles. Mais comme toutes ces particules sont extrêmement petites & très-mobiles les unes sur les autres, dès que le haut de la colonne 3 vient à descendre, elles s'écroulent, n'étant plus soutenues de ce côté-là : & de

Fig. 34.

cette maniere, la superficie de la masse totale baisse toute ensemble, quoiqu'il n'y ait qu'une des colonnes qui fournisse à l'écoulement par sa chûte. Lorsque les parties ont de la viscosité, comme celles des liqueurs grasses, ou que la masse du fluide qui s'écoule, a beaucoup de largeur par rapport à sa hauteur, on apperçoit très-bien le vide que laisse au dessus d'elle la colonne qui descend; car alors la surface, au lieu d'être plane, est creuse dans le milieu, & prend la figure d'un entonnoir (360), parce que les parties voisines n'arrivent pas avec assez de vîtesse pour remplacer celles qu'une pesanteur directe fait descendre : de plus, la pression de l'air au dessus du trou est plus forte que sa résistance au dessous.

287. Il est aisé d'appercevoir, d'après ce que nous venons de dire (285), combien la liquidité apporte de changemens aux effets de la

Fig. 33. pesanteur. Si, le vase AB (*fig.* 33.) étant plein d'eau, & en ayant ôté le tube EF, on veut soulever le piston G, on n'a à soutenir que le poids de la colonne d'eau qui repose dessus, parce que cette colonne peut se mouvoir indépendamment du reste : mais si toute la masse d'eau se convertissoit en glace, par la seule raison qu'elle ne seroit plus liquide, & que toutes ses parties seroient adhérentes entre elles, pour soulever le piston, on auroit à soutenir le poids de la masse totale.

288. *Les liqueurs exercent leur pression en toutes sortes de sens.* C'est-à-dire que non seulement elles pesent, comme le font les autres corps, de haut en bas; mais encore elles pressent, avec toute la valeur de leur poids, les obstacles qu'elles rencontrent latéralement & de bas en haut. Voilà pourquoi un tonneau plein d'huile liquide se vide, quand on le perce sur le côté. Si l'huile étoit figée, il ne se videroit pas : dans ce dernier cas, l'huile seroit un corps solide : or les corps solides ne pesent que de haut en bas, & point latéralement.

289. Pour concevoir cette pression latérale, ainsi que celle que les liqueurs exercent de bas en haut, il faut faire attention que leurs molécules sont comme un amas de petits globules qui seroient contenus dans un vase : on conçoit aisément que ces petits globules n'y sont pas tous arrangés réguliérement & à la file les uns des autres, comme nous les avons supposés ci-dessus (*fig.* 34.); mais que le plus souvent une colonne exerce sa pression entre deux autres, & tend à les écarter, comme on peut le voir en la (*fig.* 35.), où la pression perpendiculaire qui se fait vis-à-vis du point *d*, est transportée par les colonnes latérales vers les côtés *e*, *f* du vase; de sorte que si le vase étoit ouvert en ces endroits, la liqueur s'écouleroit par la grande mobilité de ses parties.

Fig. 34.
Fig. 35.

Je ferai le même raisonnement pour rendre raison de la pression de bas en haut : quand la colonne *df* tend à écarter les deux molécules *g*, *h*, la molécule *g* ne peut aller plus loin, parce qu'elle est appuyée contre les parois du vase; mais la molécule *h* peut être soulevée de bas en haut, à moins qu'une colonne égale à la colonne *ik*, ou quelque chose d'équivalent ne pese sur elle pour la contenir.

290. C'est d'après ce principe que l'eau, élevée par la pompe de la Samaritaine ou par la pompe de Notre-Dame, après être descendue du bassin dans un tuyau vertical, & ensuite après avoir glissé horizontalement dans un autre tuyau sous le pavé, remonte par un troisieme tuyau jusqu'à la fontaine. C'est encore d'après ce principe qu'on peut remplir un vase indifféremment ou par l'embouchure ou par le fond, en pratiquant à ce dernier des trous garnis de clapets, comme on le fait aux grands seaux dont on se sert pour tirer l'eau du puits de Bicêtre : sans cela on seroit obligé d'incliner ces seaux pour les remplir; ce qui seroit incommode à cause de leur longueur.

291. Il suit encore de là, que quand on construit des digues, des réservoirs ou autres ouvrages hydrauliques pour contenir des eaux, il faut les proportionner à la pression latérale qu'ils doivent éprouver; laquelle pression est d'autant plus grande, que

que la hauteur de l'eau eſt plus conſidérable. Voilà pourquoi il faut que ces ſortes d'ouvrages ſoient plus épais & plus forts dans le bas que dans le haut. Il faut prendre à peu près les mêmes précautions pour les fluides groſſiers (280), qui pourroient s'écrouler, ſoit par la petiteſſe de leurs parties, ſoit par leur peu de liaiſon. Les murs deſtinés à retenir les terraſſes ; doivent donc être aſſez forts pour réſiſter à la pouſſée latérale des terres ; laquelle pouſſée ſera d'autant plus grande, que les terres ſeront moins liées, & les terraſſes plus élevées.

292. *Toutes les parties d'une même liqueur ſont en équilibre entre elles, ſoit dans un ſeul vaiſſeau, ſoit dans pluſieurs qui communiquent enſemble, lorſque leurs ſurfaces ſupérieures ſont dans un même plan parallele à l'horizon.* Ceci eſt une ſuite de ce que nous avons dit ci-deſſus (289) : car, puiſque la molécule *h* (*fig.* 35.) doit être ſoulevée de bas en haut, à moins qu'une colonne égale à la colonne *ik* ne peſe ſur elle pour la contenir ; donc, pour qu'il y ait équilibre, il faut que les extrémités ſupérieures de ces deux colonnes ſoient dans un même plan horizontal, ou dans des points également diſtans du centre de la terre ; leſquels points ne peuvent donc pas ſe trouver dans une ligne droite : à 1000 toiſes de diſtance, il y a environ 1 pied de différence. *Fig.* 35.

Cette propriété des liqueurs fait que l'eau que l'on amene chez soi, par des canaux souterreins, remonte aussi haut que le lieu d'où elle vient, quelle que soit la profondeur à laquelle on la fait passer. Dans l'usage ordinaire, on donne une demi-ligne d'inclinaison par toise, pour vaincre la résistance des frottemens (105); cependant, d'après ce que nous venons de dire, cela n'est point absolument nécessaire : quelque long que fût le chemin, l'eau arriveroit aussi haut que le lieu d'où elle vient; il lui faudroit seulement un peu plus de temps. Cela peut rendre encore raison des sources qu'on trouve quelquefois au sommet des montagnes. Ces eaux doivent venir de montagnes plus élevées (soit voisines, soit éloignées) par des canaux souterreins, qui ont à peu près la forme de siphons renversés. Il suit de cet équilibre, que, si l'on a plusieurs réservoirs qui communiquent ensemble, il suffit d'en voir un seul, pour juger de la hauteur de l'eau dans les autres: elle sera sûrement à la même hauteur dans tous.

293. Nous venons de dire (292) que pour que les parties d'une même liqueur soient en équilibre, il faut que leurs surfaces supérieures soient dans un même plan parallele à l'horizon. D'où il suit que, lorsque la surface des eaux a beaucoup d'étendue, elle est sûrement & sensiblement convexe. On s'en apperçoit aisément sur la mer : on y

voit les mâts d'un vaisseau éloigné, avant qu'on puisse appercevoir le corps du bâtiment; de même que sur terre & en plaine on apperçoit le haut des clochers d'une ville, avant d'en voir les maisons. La raison de cela est que nous ne pouvons voir qu'en ligne droite; & que la convexité de la terre ou de la mer interrompt le rayon visuel qui vient des parties basses, à une distance où celui qui vient des parties élevées est libre d'arriver à l'œil du spectateur.

294. *Les liqueurs exercent leur pression, tant perpendiculaire que latérale, non en raison de leur quantité, mais en raison de leur hauteur au dessus du plan horizontal, & de la largeur de la base qui s'oppose à leur chûte.* C'est-à-dire que si vous remplissez d'eau plusieurs vases qui soient tous de la même hauteur, & dont les fonds soient égaux, tous ces fonds seront également chargés, quelles que soient la forme & la capacité de ces vases. Supposons qu'on remplisse d'eau les trois vases ABCD (*fig.* 36.), EF GH (*fig.* 37.), LMNOPQ (*fig.* 38.), dont les hauteurs, AB, IF, LT soient les mêmes, & qui aient tous des fonds égaux, BC, FG, NO. Il est prouvé par l'expérience, que tous ces fonds sont également chargés, quoique les quantités d'eau qui remplissent les vases, soient très-différentes. Dans le vase, (*fig.* 36.), le fond BC est

Fig. 36, 37. *Fig.* 38.

Fig. 36.

chargé de toute la masse d'eau ABCD : ici la liqueur pese à la maniere d'un solide : supposons que son poids soit de six livres. Dans le vase
Fig. 37. (*fig.* 37.), il est aisé de concevoir, d'après ce que nous avons dit ci-dessus (285), que le fond FG n'est chargé que de six livres, quoique la capacité de ce vase soit beaucoup plus grande que celle du premier : car ce fond FG ne porte que la colonne IFGK, égale à celle du vase
Fig. 36. (*fig.* 36.), laquelle colonne exerce sa pesanteur indépendamment du reste (284), qui est porté sur
Fig. 37. les parois EF, HG du vase (*fig.* 37.). La difficulté consiste donc à entendre comment, dans le
Fig. 38. vase (*fig.* 38.), le fond NO est encore chargé de six livres, quoiqu'une livre d'eau suffise peut-être pour remplir ce vase. Voici comment on peut le faire comprendre. Il est certain que sur la portion TV du fond NO, il y a une pression égale à celle d'une colonne d'eau, dont la base est l'étendue TV & la hauteur LT. Si sur toutes les autres pareilles portions du même fond, il y a une pression égale à celle de cette colonne LTVQ, ce fond est par-tout également chargé. Or, par exemple, sur la portion VX il y a une pression égale à celle d'une colonne d'eau QVXR, laquelle seroit elle-même égale à la colonne LTVQ : car la petite colonne d'eau PVXS, qui repose dessus, tend à s'élever par la pression de

la colonne voisine LTVQ (289), & avec une force égale à l'excès LMPQ de cette grande colonne sur la petite : elle presse donc la partie PS du fond supérieur avec cette force-là. Mais *la réaction est égale à la compression* (112). La partie PS réagit donc avec une force égale à l'excès LMPQ de la grande colonne sur la petite. Donc il y a sur la portion VX du fond NO, une pression composée de celle de la petite colonne d'eau PVXS & de la réaction de la partie PS, égale à la pression d'une colonne d'eau QPSR, lesquelles deux, prises ensemble, égalent la pression de la colonne LTVQ. Ce que je dis de la portion VX, on peut le dire de tout le reste. Donc le fond du vase (*fig.* 38.), est par-tout également chargé; donc, &c. *Fig.* 38.

295. Il suit de là une proposition qui paroît d'abord être un paradoxe, mais qui n'en est pas moins certaine, & qui influe considérablement sur presque toutes les machines hydrauliques; savoir, que la même quantité d'eau peut faire un effort deux ou trois cents fois plus ou moins grand, suivant la maniere dont elle est employée. Par exemple, si l'on employoit la quantité d'eau que peut contenir le vase (*fig.* 37.), dans un vase *Fig.* 37. pareil à celui de la *fig.* 38, mais assez haut pour la *Fig.* 38. contenir toute, la pression sur le fond NO seroit considérablement plus grande que sur le fond FG.

296. Il suit encore de ce que nous venons de dire (294), qu'on peut faire crever un tonneau TO, (*fig.* 39.), déjà plein en le chargeant de quelques livres d'eau, employées dans un tuyau AB, long de 25 à 30 pieds. Par ce que nous venons de dire du vase (*fig.* 38.), il est clair que cette petite quantité d'eau qui remplit le tuyau AB, charge le fond du tonneau autant que si on lui ajoutoit une colonne d'eau grosse comme le tonneau lui-même, & longue comme le tuyau : ce qui seroit un poids énorme.

Fig. 39.

Fig. 38.

Pesanteur & Equilibre de plusieurs Fluides dont les densités sont différentes.

297. Nous avons dit ci-dessus (280), que les fluides sont des amas de petits corps très-mobiles entre eux, indépendans les uns des autres, pesant séparément & à proportion de leurs petites masses. Il faut ajouter que chacun de ces petits corps est lui-même un assemblage de petites particules beaucoup plus déliées, & fortement adhérentes entre elles. Les figures & les grandeurs de ces petites particules, ainsi que les figures des petits corps qu'elles composent, occasionnant plus ou moins de vides dans l'assemblage, & par conséquent plus ou moins de porosité (15) ; il en résulte des fluides ou liqueurs de différentes densités.

298. *La différence du poids ou de la densité*

suffit pour séparer les parties de plusieurs fluides ou liqueurs qu'on a mêlés ensemble, si d'autres causes plus fortes n'empêchent cet effet. Nous avons dit ci-dessus (284), que les parties des fluides exercent leur pesanteur indépendamment les unes des autres. Celles qui ont le plus de densité, ayant plus de force pour occuper le lieu le plus bas, obligent donc les autres à leur céder leur place; & ainsi se fait la séparation : comme lorsqu'on a bien mêlé ensemble de l'eau & de l'huile; si on laisse reposer le tout, l'eau, ayant plus de densité que l'huile, s'empare de la partie inférieure; & l'huile passe à la partie supérieure. Si cet effet n'a pas lieu; c'est qu'il y a des causes qui s'y opposent. Ces causes sont, 1°. les frottemens qui croissent à mesure que la division est portée plus loin, parce qu'alors les surfaces augmentent; comme lorsqu'on mêle ensemble de l'eau & du vin : l'eau, quoique plus dense que le vin, ne s'en sépare point. 2°. La viscosité des matieres; comme lorsqu'on bat des blancs d'œufs, & que, par-là, on y mêle beaucoup d'air : l'air, quoique beaucoup plus léger, n'a pas la force de rompre ses enveloppes pour s'échapper. 3°. L'analogie entre deux liqueurs, qui fait qu'elles se divisent davantage, & éprouvent, par-là, des frottemens qui font plus que compenser la différence de leurs densités; car l'esprit-de-vin bien mêlé à l'eau ne

s'en sépare pas; & l'huile s'en sépare. C'est pourquoi le repos seul suffit pour séparer la crême, qui est une matiere grasse, du lait, qui est une substance aqueuse.

299. *Deux fluides de densités différentes sont en équilibre entre eux, lorsqu'ayant la même base, leurs hauteurs perpendiculaires à l'horizon sont en raisons réciproques de leurs densités ou pesanteurs spécifiques.* Alors les pressions sont égales, d'où naît l'équilibre. Si l'on met, par exemple, du mercure dans un siphon renversé, & que l'on verse de l'eau dans une des branches; pour faire élever le mercure dans l'autre branche d'un pouce au dessus de son niveau, il faut que l'eau soit à environ $13\frac{1}{2}$ pouces de hauteur. La hauteur de l'eau sera donc $13\frac{1}{2}$ fois aussi grande que celle du mercure; de même que la densité du mercure est $13\frac{1}{2}$ fois aussi grande que celle de l'eau.

300. Les fluides élastiques ou aëriformes ont, comme fluides, toutes les propriétés de ces sortes de substances; & on peut leur appliquer tout ce que nous avons dit jusqu'ici sur l'équilibre des fluides. Mais ils ont de plus d'autres propriétés particulieres, dépendantes de leur vertu élastique, ou de cette faculté par laquelle ils diminuent ou augmentent de volume, selon qu'ils sont plus ou moins comprimés. L'air, dont nous donnerons

ci-après (643) l'analyse, est, de tous les fluides élastiques, le plus connu, le plus répandu, & l'agent le plus universel de la Nature. C'est de sa pression & de son équilibre dont nous allons nous occuper; & il sera aisé d'appliquer la même théorie aux autres especes de fluides élastiques.

301. *L'air est un fluide pesant, & qui exerce sa pression dans tous les sens, à la maniere des autres fluides ou liqueurs.* Quoique la pesanteur ne soit pas un attribut essentiel à la matiere, & que nous puissions la concevoir sans cette tendance vers le centre de la terre, cependant nous ne connoissons aucune substance sublunaire qui ne soit pesante; & nous n'avons point de raison d'excepter l'air de la loi commune à tous les corps sublunaires. Cependant les anciens Philosophes ne connoissoient point la pesanteur de l'air. Ils admettoient dans la Nature deux sortes de corps; les corps pesans, tels qu'une pierre, un métal, & en général tous les corps qui, étant abandonnés à eux-mêmes, se portent au lieu le plus bas; & les corps légers, tels que l'air, la flamme, les vapeurs, &c. parce que ces corps semblent s'élever dans les régions supérieures. Ils pensoient donc que l'air étoit doué d'une légéreté absolue; & tous les effets qui ont sa pesanteur pour cause, étoient attribués à l'*horreur* que la Nature avoit, selon eux, pour le *vide*. Cette légéreté de l'air a eu un regne très-

long ; il n'y a pas encore cent cinquante ans qu'on eſt convaincu de ſa peſanteur. Les Fontainiers de *Côme de Médicis*, Grand-Duc de Florence, déſirant faire monter l'eau à 50 ou 60 pieds par le moyen d'une pompe aſpirante, s'apperçurent que l'eau ne montoit qu'à une certaine hauteur, paſſé laquelle, la Nature, par le vide qui s'y trouvoit, étoit réconciliée avec lui, ou du moins ſouffroit, ſans ſe plaindre, cette défectuoſité. Ce caprice, de la part de la Nature, fut communiqué par les Fontainiers à *Galilée*, qui y fit attention, quoique juſqu'alors il ſe fût payé, comme les autres, de l'*horreur du vide*, n'en ayant point apperçu les bornes. Il s'aſſura donc, par des épreuves réitérées, que l'eau ne montoit qu'à environ 32 pieds dans les pompes aſpirantes, & que le reſte du tuyau, s'il étoit plus long, demeuroit vide. Il ne lui en fallut pas davantage pour ſe révolter contre l'*horreur du vide*, &, bien loin de penſer qu'elle avoit ſes limites, au delà deſquelles elle ſe tournoit en indifférence, il commença à croire que ces ſortes de phénomenes avoient une cauſe phyſique bien différente de ce qu'on avoit imaginé juſqu'alors pour les expliquer. Ce qu'il avoit ſoupçonné, *Toricelli*, ſon diſciple, le mit en évidence. Il fit voir le premier, en 1645, qu'une colonne d'air priſe dans l'atmoſphere, ſe met en équilibre avec une colonne d'un

autre fluide, qui a la même base; & afin de n'avoir pas besoin d'un long tuyau, au lieu d'eau, il se servit de mercure. Il prit donc un tube de verre d'environ 3 pieds de long, de 2 à 3 lignes de diametre, hermétiquement fermé par un bout, & ouvert par l'autre : il le remplit de mercure bien net; & ayant bouché l'orifice avec le doigt il renversa le tube, & plaça ce bout ouvert dans un vase plein du même mercure. Il n'eut pas plus tôt retiré son doigt, que la colonne de mercure, qui avoit environ 36 pouces de long, se réduisit à la longueur d'environ 28 pouces. Si l'on compare maintenant l'expérience de *Galilée* à celle de *Toricelli*, on verra que les colonnes des fluides élevés ainsi au dessus de leur niveau, diminuent de longueur comme leurs densités augmentent : on verra que la cause qui éleve l'eau à 32 pieds, ne peut soutenir le mercure qu'à 28 pouces. Quand on sait d'ailleurs que ces deux colonnes, si différentes en longueurs, ont des poids parfaitement égaux, n'est-on pas forcé de reconnoître que cet effet est celui d'un équilibre? & quelle est la puissance qui peut faire équilibre à ces colonnes suspendues, si ce n'est l'air qui presse par son poids sur les réservoirs? C'est aussi le jugement qu'en porta *Toricelli*, & qu'en porterent, après lui, presque tous les Physiciens.

302. *Paschal* ajouta encore aux preuves de

Toricelli. Voici le raisonnement qu'il fit : » Si l'air » est la cause de ce phénomene, c'est parce qu'il » est pesant & fluide : sa pression doit donc se faire » comme celle des liqueurs ; elle doit diminuer ou » augmenter selon sa hauteur ; & les colonnes de » liqueurs avec lesquelles on le mettra en équi- » libre, seront toujours plus ou moins longues, » selon qu'elles seront moins ou plus denses «. Il suit de là que les colonnes d'air doivent faire une pression d'autant plus grande, & soutenir les liqueurs d'autant plus haut, qu'elles ont plus de longueur : or elles en ont plus au bas d'une montagne, & elles en ont moins à son sommet. *Paschal* engagea donc M. *Perrier*, son beau-frere, qui étoit alors à Clermont en Auvergne, à profiter de l'élévation de la montagne connue sous le nom du *Puy de Dôme*, pour faire l'expérience suivante.

303. EXPÉRIENCE. M. *Perrier* plaça le tube de *Toricelli* sur une planche graduée en pouces & en lignes ; & ayant remarqué à quelle hauteur le mercure étoit soutenu dans ce tube au pied du Puy de Dôme, il observa qu'il baissoit de plus en plus à mesure qu'il s'avançoit vers le haut de la montagne ; & qu'au contraire il remontoit, & suivant les mêmes proportions, à mesure qu'il descendoit vers la ville. La différence se trouva être de 3 pouces 1 ligne. Cette expérience, ima-

ginée par *Paſchal*, & répétée pluſieurs fois, a toujours donné le même réſultat; d'où l'on a conclu que le mercure ſe ſoutenoit au deſſus de ſon niveau dans le tube de *Toricelli*, par la preſſion de l'air ſur le réſervoir; puiſqu'on voyoit baiſſer le mercure dans le tube, lorſque la colonne d'air, qui répondoit à ce réſervoir, devenoit moins longue. Ces expériences, en prouvant invinciblement la peſanteur de l'air, reſtituerent authentiquement à ce fluide un très-grand nombre d'effets naturels, qu'on avoit attribués juſqu'alors à une cauſe purement chimérique.

304. *Paſchal* répéta enſuite la même expérience avec de l'eau, du vin, de l'huile, &c. & les hauteurs des colonnes de ces liqueurs ſe trouverent toujours proportionnelles à leurs denſités; preuve évidente qu'elles ſe mettoient en équilibre avec un poids qui ne pouvoit être que celui de l'air.

305. Pluſieurs Phyſiciens s'étant procuré un tube de Toricelli, placé, à la maniere de M. Perrier (303), ſur une échelle graduée en pouces & en lignes, ne manquerent pas de le viſiter ſouvent; ce qui fit remarquer les variations qui arrivent à la hauteur du mercure dans le tube. On conclut de là que la preſſion de l'air, qui eſt la cauſe de la ſuſpenſion de la colonne de mercure, eſt tantôt plus & tantôt moins grande, & agit par conſé-

quent plus ou moins fortement sur nos corps : en conséquence on pensa dès-lors à faire du tube de *Toricelli* un nouvel instrument météorologique, qui est celui que nous appelons aujourd'hui *Barometre*
Fig. 40. (*fig.* 40.).

306. L'air agit de deux manieres sur cet instrument, par son poids, & par son ressort. La variation de sa pression sur le réservoir du barometre est donc produite par deux causes ; savoir, par la variation de son poids, & par celle de son ressort. Son poids varie par la variation de sa densité, & par le plus ou le moins de substances étrangeres qui se trouvent mêlées à ce fluide, ou qu'il tient en dissolution ; & son ressort varie par la variation de sa densité, & par le plus ou le moins de chaleur dont il est affecté. La plupart des substances étrangeres qui ne sont que se mêler à l'air sous la forme de fluides élastiques, diminuent le poids de la colonne d'air, parce qu'elles sont plus légeres que lui ; mais celles de ces substances qui sont dissoutes dans l'air, ajoutent à sa densité, & par conséquent à son poids, de même que du sel dissous dans l'eau augmente son poids & sa densité. A l'égard du ressort de l'air, la chaleur qui l'augmente, diminue en même temps sa densité, en le raréfiant ; & il arrive quelquefois que l'un compense l'autre. Mais, comme l'augmentation du ressort de l'air par la chaleur est proportion-

nelle à la force qui le comprime dans le moment où il est échauffé (932), il se peut faire que cette compensation n'ait pas lieu. Alors, de ces deux effets, on n'apperçoit que l'excès du plus fort sur le plus foible.

307. Le barometre a encore une autre propriété qui ne le rend pas moins recommandable. Il annonce d'avance les changemens de temps, sur-tout quand ils doivent être considérables. Il y a bien des circonstances où ces sortes de prédictions deviennent utiles, comme, par exemple, pour les travaux de la campagne, pour les voyageurs, &c. D'après toutes les observations qu'on a faites sur le barometre, il paroît assez constant, 1°. que la hauteur moyenne du mercure est en France de $27\frac{1}{2}$ pouces; 2°. que les variations de cette hauteur ne s'y étendent guere au delà de 3 pouces; c'est-à-dire que son plus grand abaissement est à 26 pouces, & sa plus grande élévation à 29; 3°. que ces variations sont moins grandes vers l'équateur, & qu'elles sont plus grandes vers les climats septentrionaux; 4°. que, lorsque le mercure baisse dans le barometre, à quelque hauteur qu'il soit alors, il annonce de la pluie ou du vent, ou en général ce qu'on appelle mauvais temps; 5°. qu'au contraire, lorsqu'il monte, ne fût-il qu'à 26 pouces lors de son ascension, il annonce le beau temps; 6°. que ces prédictions

manquent quelquefois, sur-tout si les variations de hauteur du mercure se font lentement & d'une petite quantité ; 7°. qu'au contraire elles sont presque infaillibles, quand le mercure monte ou descend d'une quantité considérable en peu de temps, comme, par exemple, de 3 ou 4 lignes en quelques heures.

308. Il est bien clair qu'une plus grande élévation du mercure dans le barometre, dénote une plus grande pression de la part de l'air; mais il reste à savoir quelle affinité il y a entre cette pression plus ou moins grande, & le changement de temps, qui n'arrive quelquefois que 10 ou 12 heures après. C'est ce que nous allons tâcher d'expliquer. La pression que l'air exerce sur le réservoir du barometre, vient de son poids & de son ressort: or ces deux choses peuvent varier, comme nous venons de le prouver (306), & en conséquence la pression qu'elles produisent. Toutes les fois que l'air dissoudra une grande quantité d'eau, sa pesanteur spécifique en sera augmentée (306); la colonne d'air qui repose sur le réservoir du barometre, en deviendra plus pesante, & le mercure remontera. Si la dissolution n'est pas parfaite, la transparence de l'air sera troublée ; cela produira des brouillards, qui ne manquent guere de faire monter le barometre. Mais si la dissolution devient parfaite, la transparence de l'air sera complette;

complette ; le beau temps renaîtra ; ce qu'annoncera le mercure du barometre par son ascension. Lorsque quelques causes détermineront cette eau dissoute à se précipiter & à descendre dans la région basse de l'atmosphere, avant qu'elle soit assez condensée pour se ramasser en gouttes & former de la pluie, il y en aura déjà une partie qui sera arrivée jusqu'à la surface de la terre. La preuve de cela, c'est que, lorsque le temps se prépare à la pluie, tous les corps qui ne sont pas susceptibles d'être pénétrés par l'eau, telles que les rampes de fer, les pierres dures, &c. se trouvent humides. La colonne d'air, qui presse sur le réservoir du barometre, deviendra donc moins pesante, par la perte de cette portion d'eau, arrivée déjà jusqu'à terre ; & le barometre descendra, & annoncera la pluie qui surviendra peu de temps après, étant formée par le reste de l'eau qui aura eu le temps de se ramasser en gouttes.

309. Il y a, je l'avoue, des observations qui semblent contredire l'explication que nous venons de donner. Il arrive quelquefois que le barometre remonte même pendant la pluie, pendant que l'air se décharge de l'eau qu'il tenoit en dissolution : de même il arrive souvent, & je l'ai observé plusieurs fois, sur-tout en hiver, que, pendant des mois entiers, toutes les fois que le mercure monte dans le barometre, la pluie survient, & toutes les

fois qu'il descend, le beau temps renaît. Je crois cependant que cela peut très-bien se concilier avec l'explication ci-dessus (368). Car, comme nous l'avons dit, c'est la grande quantité d'eau dissoute dans l'air, qui en augmente le poids. Si donc, pendant la pluie, il se fait dans l'air une nouvelle dissolution d'eau plus abondante que la quantité qui en tombe (& cela arrive parfois), le barometre remontera. Si cette eau ainsi dissoute demeure dans la région basse, cette ascension du barometre annoncera une nouvelle pluie : c'est ce qui arrive souvent en pareille circonstance. Enfin, si l'air dissout une grande quantité d'eau, & qu'en même temps le froid ou quelque autre cause empêche cette eau de se dissoudre parfaitement & de s'élever à une grande hauteur, elle n'en augmentera pas moins le poids de l'air, ce qui fera monter le barometre; & cependant elle sera toute prête à se ramasser en gouttes & à former de la pluie, qui tombera peu de temps après. Pendant que cette pluie tombera, s'il n'y a point de nouvelle dissolution, l'air en deviendra plus léger; le barometre descendra donc, & malgré cela annoncera le beau temps qui doit suivre. Voilà, je crois, comment on peut rendre raison de l'espece d'affinité qui paroît subsister entre le poids de l'air & le changement de temps, suivant les circonstances. Le beau temps pourra aussi avoir lieu, malgré la diminution

du poids de l'air, lorsqu'il se mêlera à ce fluide quelque autre fluide élastique plus léger que lui, & qui n'en troublera point la transparence. Enfin le ressort de l'air, dont la force peut varier par différentes causes, contribuera encore à faire varier sa pression : ce ressort agit quelquefois conjointement avec le poids, pour en augmenter l'effet ; d'autres fois il agit en sens contraire, & peut ainsi diminuer ou même compenser l'effet de l'augmentation de poids. De sorte que le beau ou le mauvais temps peut subsister, à quelque hauteur que soit le mercure dans le barometre ; & cela sans infirmer l'explication que nous avons donnée de ce phénomene.

310. Le tube de *Toricelli*, dont les Physiciens ont fait le barometre, est celui qu'on appelle *simple*. C'est sans doute, de tous ceux qu'on a imaginés jusqu'à présent, celui qui doit être préféré pour les observations qui demandent de l'exactitude, à cause des inconvéniens inévitables qui se trouvent dans les autres. Si l'on est curieux de connoître ces autres barometres, on les trouvera amplement & exactement décrits dans mon *Dictionnaire raisonné de Physique*, *tome I*, *page* 222 & *suivantes*.

311. Nous avons dit (301) que l'air exerce sa pression en toutes sortes de sens, de haut en bas, latéralement & de bas en haut. Sa pression de haut

en bas est bien prouvée par ce qui précede. Il est aisé de faire appercevoir sa pression latérale, ainsi que celle de bas en haut. Si l'on perce, sur le côté ou par le bas, un tonneau plein ou à peu près, d'un petit trou, comme seroit, par exemple, celui d'une vrille, la liqueur ne s'écoule pas; parce que l'air, qui se présente au trou, soutient cette liqueur, qui n'a pas assez de hauteur pour vaincre sa pression. Enfin tous les effets qui dépendent de la pression de l'air, ont lieu dans une chambre où la colonne d'air se termine au plafond, aussi bien que dehors, où cette colonne a toute la hauteur de l'atmosphere; & cela, parce que l'air de la chambre communique avec celui du dehors, ne fût-ce que par le trou de la serrure. Ainsi, dans un barometre placé dans un appartement, le mercure se tient aussi haut que si ce barometre étoit en plein champ.

312. *C'est de la pression de l'air d'où dépend le jeu des siphons.* Un siphon est un tuyau courbé ABC (*fig.* 41.) de verre, ou de métal, ou de bois, &c. & dont une branche AB est plus courte que l'autre BC. Pour faire usage de cet instrument, on place l'extrémité A (*fig.* 42.) de la courte branche AB dans le vase EE qui contient la liqueur: on ôte l'air du siphon en suçant par l'extrémité C de la longue branche BC. Alors l'écoulement commence, & ne finit que lorsque la

Fig. 41.

courte branche AB ne plonge plus du tout dans la liqueur. Il est aisé de voir que c'est la pression de l'air, sur la surface de la liqueur dans le vase, qui cause cet écoulement. Car supposons GF les confins de l'atmosphere ; tous les points de la surface A de la liqueur sont également pressés par la colonne d'air AF : si, à quelque endroit de cette surface, on supprime cette pression, la liqueur doit s'écouler par là, puisqu'elle y trouve moins de résistance que par-tout ailleurs : c'est pourquoi le siphon se remplit en entier, lorsqu'on suce l'air par l'extrémité C.

313. Si les deux branches du siphon étoient d'égale longueur, comme BA, BD, l'écoulement n'auroit pas lieu ; parce que la colonne d'air DG, qui résisteroit en D, étant aussi haute que celle qui presse en A, lui feroit équilibre, de même que se le font les deux colonnes de liqueur BA, BD. Mais lorsque l'une BC des deux jambes est plus longue que l'autre, quoique la colonne d'air GC, qui lui répond, soit plus longue que celle qui presse en A, elle n'est pas capable d'empêcher l'écoulement. En voici la raison. Considérons la colonne d'air GC comme divisée en deux parties, dont une GD fait équilibre à la colonne d'air FA, & seroit capable d'arrêter l'écoulement, si la branche BC finissoit en D. La portion de liqueur qui remplit la partie DC du

ſiphon, ne trouve donc plus d'autre réſiſtance en C, qu'une colonne d'air DC de même longueur qu'elle, mais qui lui eſt très-inférieure en poids. Cette portion de liqueur s'écoule donc par l'excès de ſon poids. Mais tandis qu'elle coule, rien ne ſoutient celle qui eſt au deſſus, qui la ſuit néceſſairement, pendant que la preſſion de l'air en A fournit de nouvelle liqueur pour remplacer celle qui s'eſt écoulée. C'eſt ainſi que l'écoulement devient continu. C'eſt pourquoi la réſiſtance de l'air en C eſt d'autant plus vaincue, que la longueur de la branche BC du ſiphon excede davantage celle de la branche AB. On en aura la preuve, ſi l'on ajoute en C un bout de tuyau qui alonge cette branche; car alors, dans un temps donné, il s'écoulera plus de liqueur qu'il ne s'en écouleroit ſans cet alongement.

314. Puiſque c'eſt la preſſion de l'air qui éleve la liqueur dans la courte branche BA, il s'enſuit que la hauteur de cette branche eſt limitée à 32 pieds quand la liqueur eſt de l'eau; par la raiſon que l'air ne peut pas faire monter l'eau plus haut (301); & que lorſque la liqueur eſt du mercure, la hauteur de la courte branche ne doit pas excéder 28 pouces, puiſque l'air ne peut ſoutenir le mercure qu'à cette hauteur.

Pesanteur & Equilibre des Solides plongés dans les Fluides.

315. Il est certain qu'un solide qu'on plonge dans une liqueur, & qui est en même temps impénétrable à cette liqueur, occupe la place d'un volume de cette liqueur parfaitement égal au sien. Ce volume de liqueur déplacé, ou égale en densité ou en poids le solide qui prend sa place, ou bien l'un des deux pese plus que l'autre. Dans ce dernier cas, qui est le plus commun, on appelle *Pesanteur respective*, la quantité dont le plus pesant surpasse le plus léger.

316. *Un corps solide entiérement plongé dans un fluide, est comprimé de toutes parts par le fluide qui l'entoure; & la pression qu'il éprouve est d'autant plus grande, qu'il est plus profondément plongé, & que le fluide a plus de densité.* Nous avons prouvé ci-dessus (288) que les liqueurs ou fluides exercent leur pression en toutes sortes de sens : par conséquent un corps solide, plongé dans un fluide, est comprimé de toutes parts. Nous avons prouvé (294) que cette pression croît en raison de la hauteur du fluide : donc la pression qu'éprouve le corps plongé, est d'autant plus grande, qu'il est plus profondément plongé. Enfin nous avons prouvé (299) qu'il y a équilibre entre deux fluides dont les hauteurs sont en raisons

réciproques de leurs densités : donc, à profondeurs égales, le corps plongé est d'autant plus comprimé, que le fluide a plus de densité.

317. Nous qui sommes plongés dans l'air, qui est un fluide qui agit suivant toutes les loix de l'hydrostatique (301), nous sommes donc comprimés de toutes parts par l'air qui nous environne : nous le sommes plus dans un lieu bas que dans un lieu élevé ; & nous le sommes d'autant plus, que l'air a plus de densité. Il est vrai que nous nous appercevons peu de cette pression, quoiqu'elle soit très-grande ; puisque, pour une personne d'une moyenne taille, elle excede le poids de 30000 livres : cela vient, 1°. de ce que cette pression sur nous est continuelle : or les sensations habituelles ne sont pas, en quelque façon, des sensations pour nous ; nous ne nous appercevons bien que des choses extraordinaires : 2°. de ce que nous respirons intérieurement le même fluide ; ce qui établit un équilibre entre la pression extérieure & la réaction intérieure. Nous nous appercevons encore moins des différences de cette pression, parce qu'elles sont trop peu sensibles. Il n'en seroit pas ainsi, si, de même que les poissons, nous vivions dans un fluide beaucoup plus dense, comme l'eau. Un poisson qui est à la surface de l'eau, n'est chargé que du poids de l'atmosphere ; mais s'il

ſe plonge ſeulement à 32 pieds de profondeur, la preſſion qu'il éprouve dans ce ſecond cas, eſt double de celle qu'il éprouvoit dans le premier. C'eſt une des principales raiſons qui ont fait abandonner l'uſage de la cloche du plongeur : à environ 60 pieds de profondeur, on éprouvoit une preſſion, ſoit extérieure, ſoit intérieure, déjà trop forte pour pouvoir la ſoutenir pendant quelque temps ſans danger de rupture de vaiſſeaux & de crachement de ſang.

318. *Un corps plongé dans un fluide, ajoute à ce fluide un poids égal à celui du volume de fluide qu'il déplace, quelle que ſoit la denſité de ce corps.* Si, dans un vaſe à peu près plein d'eau, ſuſpendu au bras d'une balance, & en équilibre avec un poids pendu à l'autre bras, on plonge, ſoit une boule de bois, ſoit une boule de plomb de même diametre, fixée à une tige qu'on a ſoin de ne pas lâcher ; dans l'un & l'autre cas on ajoute un poids égal ; car le même poids placé à l'autre bras, ſera dans les deux cas néceſſaire & ſuffiſant pour rétablir l'équilibre. Donc, &c. La raiſon de cela eſt que le corps plongé fait élever la liqueur dans le vaſe, dans lequel on le plonge, autant que ſi on y ajoutoit un volume de liqueur égal au ſien : or les liqueurs peſent en raiſon de leur hauteur perpendiculaire (294) : donc, quelle que ſoit la denſité

du corps plongé, pourvu que le volume soit toujours le même, il ajoutera toujours le même poids : & nous verrons bientôt que ce poids est égal à celui du volume de liqueur déplacé.

319. *Si le corps plongé est plus pesant que le volume de liqueur qu'il déplace, sa pesanteur respective* (& non pas sa pesanteur absolue) *le fait tomber au fond du vase, s'il est libre de lui obéir.* La preuve de cela, c'est que, pour l'empêcher de tomber, il ne faut pas un poids égal au sien, mais seulement un poids égal à l'excès de son poids sur celui du volume de liqueur déplacé. En effet, le corps plongé tient la place d'un volume de liqueur qui seroit en équilibre avec le reste : le volume de liqueur qui est au dessous, ne doit donc lui céder sa place que suivant l'excès de son poids sur celui de ce volume de liqueur : or c'est cet excès que l'on appelle *pesanteur respective.* Il suit de là :

320. *Qu'un corps plongé dans un fluide perd une partie de son poids ; & cette partie perdue est parfaitement égale au poids du volume de fluide déplacé.*

Fig. 43. EXPÉRIENCE. L (*fig.* 43.) est un petit cylindre solide de cuivre, capable de remplir exactement la boîte M sous laquelle il est suspendu. On met le cylindre & la boîte en équilibre, au fléau d'une balance, avec le poids N, placé sous

l'autre baſſin ; & l'on plonge le petit cylindre dans l'eau. Alors le poids N l'emporte; donc ce corps plongé perd une partie de ſon poids. Pour rétablir l'équilibre, il ſuffit de charger le bras de la balance d'un volume d'eau égal à celui du cylindre L plongé ; ce que l'on fait exactement en rempliſſant d'eau la boîte M. Donc ce corps plongé perd une partie de ſon poids parfaitement égale au poids du volume d'eau qu'il déplace ; & la portion de ſon poids qui lui reſte n'eſt donc que ſa peſanteur reſpective; la ſeule qu'on auroit à ſoutenir, ſi l'on vouloit l'empêcher d'aller au fond. Voilà pourquoi il eſt ſi aiſé d'empêcher un homme de ſe noyer, par quelque endroit qu'on le ſoutienne ; car ſa peſanteur reſpective dans l'eau eſt très-peu de choſe.

321. Il ſuit de là, qu'*un corps ne tend jamais à tomber avec toute l'intenſité de ſa peſanteur abſolue* (204); car il eſt toujours plongé dans un fluide; ce qui lui fait perdre une partie de ſon poids. Il ne lui reſte donc, pour tomber, que ſa peſanteur reſpective.

322. Il ſuit encore de là, 1°. Qu'*à quantité égale de matiere ou à poids égaux, plus les corp ont de volume, plus ils perdent de leur poids par l'immerſion.* Car ils déplacent alors un plus grand volume de liqueur.

323. 2°. Que, *plus la liqueur dans laquelle le*

corps est plongé, a de densité, plus ce corps perd de son poids par l'immersion. Car alors il déplace un volume de liqueur qui a plus de poids. Or c'est le poids de ce volume de liqueur déplacé qui détermine la portion de son poids que perd le corps plongé (320). Un corps perdroit donc une plus grande portion de son poids dans l'eau, que dans l'esprit-de-vin : il en perdroit encore une beaucoup plus grande portion dans le mercure.

324. ***Si** un corps est moins pesant qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle il est plongé, il surnage en partie ; & ce qui reste plongé, déplace une quantité de liqueur qui pese autant que le corps entier.*

Expérience. Qu'on mette de l'eau dans un vase de verre garni d'un robinet par le bas (*fig.* 44.) : qu'on marque, avec une bande de papier, la hauteur à laquelle est l'eau dans le vase : qu'ensuite on y mette une grosse boule de bois. Elle surnagera en partie : & la partie plongée fera élever l'eau dans le vase autant que si l'on y avoit ajouté un volume d'eau égal au volume de la partie plongée. Qu'ensuite on ôte de l'eau, par le moyen du robinet, jusqu'à ce que la surface soit baissée jusqu'à la marque où elle étoit en premier lieu. Il est clair qu'on aura ôté un volume d'eau égal au volume de la partie plongée. Qu'on

Fig. 44.

pese ensuite ce volume d'eau contre la boule de bois; ils se feront mutuellement équilibre. Donc ils pesent autant l'un que l'autre. Donc, &c.

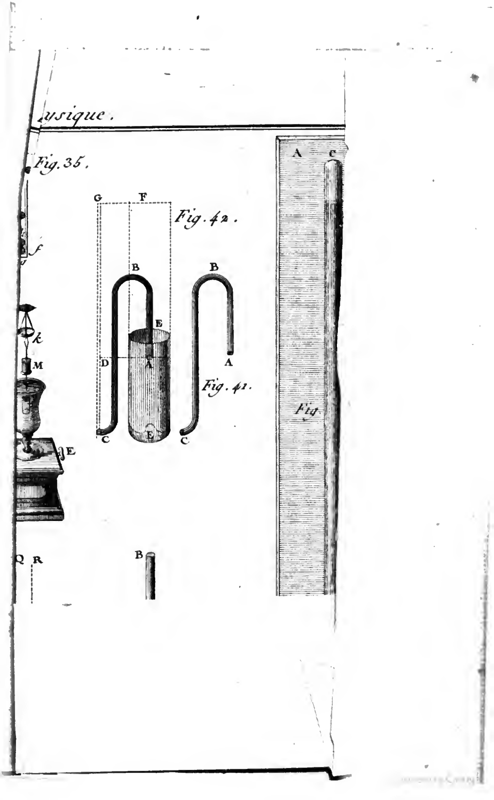
325. Un bateau, placé sur la riviere, déplace donc une quantité d'eau qui pese précisément autant que le bateau & toute sa charge; & si on le charge davantage, il s'enfonce d'autant; & sa partie plongée est d'autant plus grande qu'il est plus chargé, ou que l'eau a moins de densité. Il s'enfonce donc moins dans la mer que dans l'eau douce. Ainsi, si un bateau doit aller alternativement sur la mer & sur l'eau douce, il ne faut pas le charger autant qu'il pourroit l'être sur la mer; car il seroit submergé dans l'eau douce.

C'est sur le principe établi ci-dessus (324), qu'est fondé l'usage de l'aréometre.

326. L'aréometre est un instrument par le moyen duquel on connoît la différence de la pesanteur spécifique des liqueurs. Le plus simple & le plus en usage consiste en une petite boule de verre mince B (*fig.* 45.), soufflée à la lampe, *Fig.* 45.
& dont le col AC, qui est long & d'un petit diametre, est divisé dans toute sa longueur, en parties égales. Afin que cet instrument puisse se tenir au milieu des liqueurs dans une situation verticale, on fait en sorte que le centre de gravité se trouve vers la partie inférieure : c'est

pour cela que l'on adapte, au dessous de la boule, une autre petite boule soufflée S, dans laquelle on met du mercure. Il n'y en faut mettre qu'une quantité telle que l'aréometre en entier ne pese pas tout-à-fait autant qu'un volume des liqueurs qu'on veut éprouver par son moyen, égal au volume de l'aréometre même.

327. L'aréometre ainsi construit, on le plonge dans les liqueurs que l'on veut comparer : il ne s'y enfonce pas en entier, puisque nous le supposons plus léger qu'un volume de la liqueur égal au sien : car les corps solides, plongés dans les liqueurs, cessent de s'y enfoncer, lorsqu'ils ont déplacé une quantité de liqueur dont le poids égale le leur (324). Ils s'y enfoncent donc d'autant plus profondément que la liqueur est plus légere ou qu'elle a moins de densité : au contraire, ils s'y enfoncent d'autant moins profondement, que la liqueur est plus pesante ou qu'elle a plus de densité. De sorte que si le poids de l'aréometre est tel qu'il s'enfonce dans l'eau jusqu'à E, il s'enfoncera plus profondément dans des liqueurs plus légeres : il s'enfoncera, par exemple, dans le vin jusqu'à F; dans l'esprit-de-vin, jusqu'à G, &c. Mais, si on le plonge dans des liqueurs plus pesantes que l'eau, il ne s'y enfoncera pas si profondément qu'E : par exemple, dans la biere il ne s'enfoncera que jusqu'à D, & toujours



ysique.
Fig. 35.
f
k
M
E
Q R
G
F
Fig. 42.
B
E
D
A
C
E
B
A
Fig. 41.
C
B
A
C
Fig.



d'autant moins que la liqueur, dans laquelle on le plongera, sera plus dense, & par conséquent plus pesante.

328. Par ce procédé on connoîtra si une liqueur est plus ou moins pesante qu'une autre, à laquelle on la compare : mais on ne connoîtra pas de combien ; car, pour cela, il faudroit connoître exactement le rapport qu'il y a de la tige AC, aux boules B & S ; ce qui est impossible, d'après la construction ci-dessus (326) : il faudroit de plus que la tige AC fut parfaitement cylindrique ; ce qui n'arrive jamais. Le plus sûr moyen d'acquérir cette connoissance exacte, est d'opérer toujours sur des volumes égaux. Pour cela il faut faire usage de l'aréometre de *Farenheit*, qui est, sans contredit, le meilleur de tous ceux qu'on a imaginé jusqu'à présent.

329. L'aréometre de *Farenheit* (*fig.* 46.) est composé d'une petite bouteille ovale de verre mince B, soufflée à la lampe, dont le col AC, qui est très-menu, est surmonté d'un petit bassin DE, destiné à recevoir de petits poids. L'instrument est lesté au moyen d'une petite boule de verre soufflée S, adaptée à sa partie inférieure, & dans laquelle on a mis du mercure. On fixe, sur le col, un petit grain d'émail *a* ; & l'instrument est construit. *Fig.* 46.

330. Pour faire usage de cet aréometre, il

faut commencer par connoître exactement son poids, qu'on fera bien de marquer dessus, afin de ne pas l'oublier. Ensuite on plonge l'instrument dans de l'eau distillée; &, en le chargeant de poids, on l'y fait enfoncer jusqu'au grain d'émail *a*. La somme des poids qu'on a mis dans le bassin DE, pour produire cet enfoncement, jointe au poids de l'aréometre, donne exactement le poids du volume d'eau, mesuré par l'aréometre (324). On n'a qu'à faire la même opération sur telle autre liqueur qu'on voudra; & l'on aura, avec la même exactitude, le poids du volume de cette liqueur mesuré par l'aréometre. Or il est clair que ces deux volumes sont parfaitement égaux, puisqu'ils sont mesurés par le même instrument: la différence de leurs poids donnera donc la différence de leur pesanteur spécifique, ou le rapport de leurs densités. Pour connoître ce rapport, on fera cette proportion: La pesanteur spécifique de cette liqueur est à celle de l'eau distillée, comme le poids du volume de cette liqueur, mesuré par l'aréometre, est au poids du volume d'eau, aussi mesuré par l'aréometre. Si l'on connoît exactement la pesanteur spécifique de l'une, on connoîtra par-là la pesanteur spécifique de l'autre, ainsi que celle de toutes les liqueurs qu'on éprouvera de la même maniere.

Si l'on veut connoître les différentes especes d'aréometres

d'aréometres imaginées jusqu'à présent, on les trouvera exactement décrites dans mon *Dictionnaire raisonné de Physique*, *Tom.* 1. *pag.* 137 *& suiv.*

331. C'est d'après les principes que nous avons établis ci-dessus (315, 320), qu'on peut connoître la pesanteur spécifique des corps, soit solides, soit fluides. Cette pesanteur est le poids que pese un corps sous un volume connu & déterminé, comme, par exemple, un pouce cube, ou un pied cube. Pour acquérir cette connoissance, on pese les corps hydrostatiquement, c'est-à-dire, 1°. dans l'air; 2°. dans l'eau. Il faut se servir, en pareil cas, d'eau distillée, afin d'être sûr d'avoir toujours la même; & faire en sorte que cette eau soit, dans toutes les épreuves, à la même température. On sait qu'un corps plongé dans l'eau, déplace un volume d'eau parfaitement égal au sien (315), & qu'alors il perd une portion de son poids parfaitement égale au poids du volume d'eau qu'il déplace (320). On a donc par-là, 1°. le poids de ce corps: 2°. le poids d'un volume d'eau parfaitement égal au volume de ce corps. Ces deux poids, comparés l'un à l'autre, donnent le rapport qu'il y a entre la pesanteur spécifique de ce corps & celle de l'eau (dont je suppose la pesanteur spécifique connue), en faisant cette proportion, dans laquelle 1000

repréſentent la peſanteur ſpécifique de l'eau : & l'on dit : Le poids du volume d'eau déplacé par ce corps, eſt au poids de ce corps, comme 10000 eſt à un quatrieme terme, qui repréſente la peſanteur ſpécifique de ce corps.

Il ne laiſſe pas que d'y avoir des difficultés pour obtenir de l'exactitude dans les épreuves. Si l'on veut connoître ces difficultés, ainſi que les moyens de les prévenir, on les trouvera, les uns & les autres, exactement détaillés dans le *Diſcours préliminaire* de mon Ouvrage ſur la *Peſanteur ſpécifique des corps.*

332. De ce que nous venons de dire, il ſuit, 1°. que, *quand deux corps ſont égaux en volumes, leurs peſanteurs ſpécifiques ſont l'une à l'autre comme leurs maſſes.* Ainſi un corps eſt d'une peſanteur ſpécifique double de celle d'un autre, lorſqu'il a deux fois la maſſe de cet autre ſous le même volume.

333. 2°. *Lorſque deux corps perdent des poids égaux dans la même eau, ils ont ſûrement des volumes égaux*, quelque figure qu'ils aient; puiſqu'ils y perdent toujours des poids égaux aux poids des volumes d'eau qu'ils déplacent (320).

334. 3°. *Les peſanteurs ſpécifiques des corps qui ſont du même poids, ſont en raiſon réciproque de leurs volumes.* Ainſi un corps eſt d'une pe-

ſanteur ſpécifique double de celle d'un autre corps, lorſqu'avec le même poids il n'a que la moitié du volume de l'autre corps.

335. 4°. *Les peſanteurs ſpécifiques des deux corps ſont en raiſon composée de la raiſon directe de leurs maſſes, & de la raiſon réciproque de leurs volumes.* Cette propoſition eſt une ſuite néceſſaire des deux précédentes (332, 334).

336. 5°. *Un même corps perdra une plus grande portion de ſon poids dans un fluide ſpécifiquement plus peſant, que dans un plus léger;* puiſqu'il perdra toujours une portion de ſon poids égale au poids du volume de fluide qu'il déplace (320). Il faut donc plus de force pour le ſoutenir dans un fluide plus léger, que pour le ſoutenir dans un fluide plus peſant : il faut plus de force pour le ſoutenir dans l'air, que pour le ſoutenir dans l'eau.

337. 6°. *Les peſanteurs ſpécifiques des corps également peſans ſont réciproquement comme les quantités de leur poids qu'ils perdent dans le même fluide.* Ainſi, ſi, de deux corps de poids égaux, l'un perd $\frac{1}{5}$, & l'autre $\frac{2}{5}$ de ſon poids dans le même fluide, la peſanteur ſpécifique du premier eſt à celle du ſecond, comme 2 eſt à 1; en raiſon réciproque des pertes de poids.

338. 7°. *Si un corps eſt de la même peſanteur ſpécifique qu'un fluide, & qu'on l'y plonge,*

il s'arrêtera à quelque profondeur du fluide qu'on le place; il y fera en équilibre.

339. 8°. *Si un corps spécifiquement moins pesant qu'un fluide y est entiérement plongé, & qu'on le lâche, il remontera avec une force égale à l'excès du poids d'un volume de ce fluide égal au sien, sur le poids de ce corps.* C'est par cette raison que les ballons s'élevent dans l'air.

340. 9°. *La pesanteur spécifique d'un solide est à celle d'un fluide plus pesant, & sur lequel il nage, comme le volume de la partie plongée est au volume du corps entier.* Ainsi, si le volume de la partie plongée est au volume du corps entier, comme 2 est à 3; la pesanteur spécifique de ce solide est à celle du fluide, comme 2 est à 3.

341. 10°. *Le poids & le volume d'un corps, ainsi que la pesanteur d'un fluide, spécifiquement plus pesant que ce corps, étant donnés, trouver la force requise pour tenir ce corps entiérement plongé dans le fluide.*

Comme cette force est égale à la pesanteur respective du fluide (319), au moyen du volume donné du solide & du poids connu d'un pied cube du fluide, trouvez, par la regle de trois, le poids d'un volume du fluide égal au volume du solide. Otez de ce poids, le poids du solide: le reste est la force demandée. Par exemple,

ſuppoſons que l'on demande la force néceſſaire pour ſoutenir plongé dans l'eau un ſolide de 8 pieds cubes de volume & de 400 livres de poids. Puiſqu'un pied cube d'eau peſe 70 livres, le poids de 8 pieds cubes d'eau eſt 560 livres : ôtez-en 400 livres ; les 160 livres reſtantes ſont la force néceſſaire pour tenir le ſolide plongé dans l'eau, & l'empêcher de remonter.

342. 11°. *Le poids d'un corps, qui doit être conſtruit d'une matiere ſpécifiquement plus peſante qu'un fluide, & la peſanteur de ce fluide ſpécifiquement plus léger, étant donnés, déterminer la cavité que le corps doit avoir pour nager ſur le fluide.*

Le poids d'un pied cube du fluide étant donné, on trouve, par la regle de trois, le volume de la portion du fluide égale en poids à celui du corps. Si donc on fait la cavité du corps telle que le volume ſoit un peu plus grand que le volume trouvé, le corps aura moins de poids ſous le même volume que le fluide ; & par conſéquent ſera ſpécifiquement moins peſant ; donc il nagera ſur le fluide. Par exemple, ſuppoſons qu'on propoſe de faire une boule de fer de 30 livres, & qui ait un volume tel qu'elle puiſſe nager ſur l'eau. Puiſque le poids d'un pied cube d'eau eſt 70 livres, un volume d'eau égal en poids à 30 livres ſera les $\frac{3}{7}$ d'un pied cube : on trouvera

facilement quel doit être le diametre d'une ſphere, pour qu'elle ait $\frac{4}{7}$ de pied cube de ſolidité. On fera enſuite la boule de fer de maniere qu'elle ſoit creuſe en dedans, & que ſon diametre ſoit plus grand que le diametre trouvé : ſi l'on donne à cette boule 11 pouces 3 lignes de diametre, elle ſurnagera. Il n'eſt donc pas néceſſaire que, pour qu'un corps ſurnage, il ſoit d'une matiere en elle-même plus légere que l'eau : il ſuffit de lui donner un grand volume & peu de maſſe. Auſſi, quoique le cuivre ſoit environ 8 fois auſſi peſant que l'eau, on a à l'armée des gondoles de cuivre pour établir des ponts pour le paſſage des troupes.

Phénomenes des Tuyaux capillaires.

343. On appelle *Tuyaux capillaires*, les tuyaux menus, ou qui n'ont qu'un petit diametre. Ce nom-là leur vient ſans doute de leur reſſemblance par leur petiteſſe avec les cheveux (en latin *capilli*). Cependant il n'eſt pas néceſſaire qu'ils ſoient auſſi menus que des cheveux : ceux dont on fait uſage en Phyſique, le ſont beaucoup moins; & même leurs effets ſe ſont appercevoir, quoique leur diametre intérieur égale 2 lignes ou 2 $\frac{1}{2}$ lignes. Ils peuvent être faits de toutes ſortes de matieres, de verre, de métal, &c. & peuvent avoir toutes ſortes de formes. Tous les corps aſſez poreux &

capables d'admettre les liqueurs dans leur intérieur, peuvent même être considérés comme des assemblages de tuyaux capillaires.

344. Nous plaçons ici les phénomenes des tuyaux capillaires, parce qu'ils paroissent être des exceptions aux loix de l'hydrostatique. Une de ces loix (291) est que *toutes les parties d'une même liqueur sont en équilibre entre elles, soit dans un seul vaisseau, soit dans plusieurs qui communiquent ensemble, lorsque leurs surfaces supérieures sont dans un même plan parallele à l'horizon.* Or voici ce qui arrive avec les tuyaux capillaires.

345. 1°. Si l'on plonge l'extrémité d'un tuyau capillaire dans un vase plein de liqueur, aussi-tôt la liqueur s'éleve dans le tuyau au dessus de son niveau.

346. 2°. Si l'on plonge le même tuyau capillaire dans différentes liqueurs, toutes s'élevent dans le tuyau au dessus de leur niveau, mais à des hauteurs différentes : & ce ne sont pas toujours les moins pesantes qui s'élevent le plus haut ; car l'esprit-de-vin s'y éleve beaucoup moins haut que l'eau, l'acide nitrique, l'eau salée, l'acide sulfurique concentré, l'urine, &c. & ce sont celles que je viens de nommer les dernieres, qui s'y élevent le plus haut. D'où il suit qu'elles ne s'y élevent point en raison inverse de leurs densités ; ce qui devroit être, si leur élévation étoit un effet d'équilibre. Ce

ne sont pas même toujours les plus légeres qui s'y élevent le moins; puisque l'urine s'y éleve plus haut que l'acide sulfurique concentré. Ce qui fait voir que cette élévation ne suit aucune regle connue.

347. 3°. Si l'on plonge dans la même liqueur deux tuyaux capillaires de diametres différens, la liqueur s'y éleve au dessus de son niveau à des hauteurs qui sont en raison inverse des diametres des tuyaux.

348. 4°. Le contraire de tout cela arrive avec le mercure : car si l'on plonge un tuyau capillaire dans du mercure, 1°. il s'y tient plus bas que son niveau; 2°. d'autant plus bas, que le tuyau est plus étroit; 3°. & ce *plus bas* est en raison inverse des diametres des tuyaux.

349. Il y a long-temps que l'on cherche la raison de ces phénomenes si contraires aux loix de l'hydrostatique, & si opposés à ce que l'on connoît d'ailleurs; mais on ne peut pas encore se flatter de l'avoir trouvée. On peut ranger en trois classes les différentes opinions qu'on a proposées sur cette matiere.

350. La premiere comprend celles qui attribuent ces phénomenes à la pression inégale du fluide environnant; en supposant qu'il presse plus librement & d'une maniere plus complette sur la
Fig. 47. surface du vase AB (*fig.* 47) qui contient la

liqueur, que par l'orifice supérieur du tuyau plongé D. On ne peut pas attribuer ces effets à la pression de l'air que nous respirons, puisque les mêmes phénomenes ont lieu dans le vide de Boyle. Il faut donc que cela dépende d'un fluide beaucoup plus subtil, dont nous ne nions pas l'existence. Mais si cela venoit de l'inégalité de pression de ce fluide, les liqueurs devroient s'élever, 1°. proportionnellement à la longueur du tuyau; car si ce fluide y trouvoit de la difficulté, il est certain qu'il en éprouveroit davantage dans un plus long que dans un plus court; cependant cela n'arrive pas. L'élévation de la liqueur dépend uniquement du diametre intérieur du tuyau, & point du tout de sa longueur. 2°. Les liqueurs devroient s'élever en raison inverse de leurs densités : or, comme nous l'avons dit ci-dessus (346), l'expérience prouve que cela n'est pas. 3°. Le mercure devroit s'élever, dans tous les tuyaux capillaires, au dessus de son niveau, de même que le font les liqueurs; ou bien il faudroit dire que, quand on présente le tuyau capillaire à du mercure, ce fluide presse plus librement par l'orifice supérieur du tuyau, que sur la surface du vase; ce qui seroit absurde. 4°. Une preuve bien complette que ces effets ne dépendent point d'une pression plus ou moins libre, c'est que, si, au lieu de plonger le tuyau dans la liqueur, on en fait couler une goutte ou deux en dehors & selon la

longueur du tuyau, dès qu'elle est parvenue à l'orifice inférieur, elle y remonte comme dans les autres cas. Cette premiere opinion n'est donc rien moins que satisfaisante.

351. La seconde classe comprend les opinions de ceux qui prétendent que la petite colonne de liqueur perd son poids par son adhérence au tuyau, ou par le frottement. Ces opinions sont si mal conçues, qu'à peine méritent-elles qu'on y réponde. Il est certain, & l'expérience prouve que, pour que la liqueur monte dans le tuyau capillaire, il n'est point nécessaire de l'y plonger; il suffit qu'il touche à la surface de la liqueur, le plus légérement possible; alors la liqueur monte. Il faut donc une cause qui la fasse monter. J'avoue qu'on conçoit aisément comment une petite colonne de liqueur, une fois montée dans un tuyau capillaire, y pourroit être retenue par le frottement ou par son adhérence aux parois du tuyau; mais on conçoit de même que ce frottement ou cette adhérence, au lieu de l'y faire monter, devroit l'en empêcher.

352. La troisieme classe comprend les opinions de ceux qui supposent que le tuyau, ayant plus de masse ou de densité que la liqueur, l'attire plus puissamment qu'elle ne s'attire elle-même: voilà pourquoi, disent-ils, le mercure se tient dans les tuyaux capillaires au dessous de son niveau (348);

parce qu'il s'attire plus puiſſamment lui-même, qu'il n'eſt attiré par les tuyaux, qui ont moins de denſité que lui. Mais ſur quoi eſt fondée cette ſuppoſition ? Suivant quelles loix agit cette attraction ? Si ces loix étoient les mêmes que celles de l'attraction générale, développées par *Newton*, 1°. les liqueurs devroient toujours être attirées en raiſon inverſe de leurs maſſes; c'eſt-à-dire que les moins denſes devroient être plus fortement attirées que les plus denſes, & par conſéquent s'élever à une plus grande hauteur : or c'eſt ſouvent le contraire; car il y a des liqueurs plus denſes, qui s'élevent beaucoup plus haut que d'autres liqueurs moins denſes (346). 2°. L'attraction des tuyaux devroit être proportionnelle à leur maſſe : or cela n'eſt pas; car, de quelque matiere que ſoient faits pluſieurs tuyaux, pourvu que le diametre intérieur ſoit le même dans tous, la même liqueur s'y élevera à la même hauteur. 3°. Les liqueurs devroient ſe tenir au deſſous de leur niveau, dans des tuyaux faits d'une matiere moins denſe qu'elles; car alors, ſuivant les loix de l'attraction, elles s'attireroient plus puiſſamment elles-mêmes, qu'elles ne ſeroient attirées par les tuyaux. Or le contraire arrive chaque jour. Les corps poreux, & qu'on doit regarder comme des aſſemblages de tuyaux capillaires, admettent dans leurs pores & élevent au deſſus de leur niveau, des liqueurs

plus denſes qu'eux-mêmes. De plus, le mercure, qui ſe tient au deſſous de ſon niveau dans un tuyau de verre (348), parce que le verre a, dit-on, une denſité moindre que la ſienne, devroit, par la même raiſon, ſe tenir au deſſous de ſon niveau dans un tuyau d'étain, qui n'a guere que la moitié de la denſité du mercure. Or le contraire arrive, comme je l'ai éprouvé moi-même. Ayant plongé dans du mercure un petit tuyau d'étain, d'environ un quart de ligne de diametre, j'ai vu le mercure s'y élever pour le moins jusqu'à ſon niveau. Je ſuis perſuadé qu'il s'éleveroit de même dans un tuyau d'or, d'argent, ou de plomb. Il paroît donc qu'en général les liqueurs s'élevent au deſſus de leur niveau, dans les tuyaux qu'elles peuvent mouiller, ou auxquels elles peuvent adhérer : voilà une des raiſons pour leſquelles le mercure ſe tient au deſſous de ſon niveau dans les tuyaux de verre, auxquels il n'adhere point.

353. Eſt-ce que l'attraction, qu'on prétend être la cauſe des phénomenes des tuyaux capillaires, ſuivroit, ſinon la raiſon des maſſes, du moins la raiſon des ſurfaces ? L'expérience prouve que non. Car elle nous apprend que les liqueurs s'élevent dans les tuyaux capillaires en raiſon inverſe de leurs diametres (347) ; c'eſt-à-dire que, ſi la colonne de liqueur élevée au deſſus de ſon niveau eſt d'un pouce de haut dans un tuyau d'une ligne

de diametre, elle sera de deux pouces de haut dans un tuyau d'une demi-ligne, & ainsi des autres. Par conséquent la surface intérieure du tuyau, touchée par la liqueur, est dans tous de la même étendue, puisque les circonférences sont en raison directe des diametres. Cependant la quantité de liqueur élevée au dessus de son niveau est, comme on le voit clairement, plus considérable dans les gros tuyaux que dans les petits, puisque les solidités sont comme les quarrés des diametres. La force attractive n'est donc pas proportionnelle à l'étendue des surfaces attirantes ; ce qui devroit pourtant être : ou bien il faudroit dire que la même cause ne produit pas constamment le même effet ; ce qu'on ne peut pas admettre.

354. M. *Jurin* (*Transf. Phil. n°. 363, art. 2*), d'après des expériences, à la vérité très-ingénieuses, mais qui, de son aveu même, ne sont point du tout concluantes, a cependant cru pouvoir conclure que l'attraction du tuyau n'agit que par le cercle annulaire de la surface intérieure où se termine la colonne de liqueur. Voici ses expériences.

Expériences. Il a fait souder l'un à l'autre deux tuyaux capillaires AD & CB (*fig.* 48), dont le diametre de l'un CB étoit beaucoup plus grand que celui de l'autre AD. Supposons que dans le gros l'eau ne pût s'élever que de 6 lignes au dessus *Fig. 48.*

de son niveau, & de deux pouces dans le petit. Il a plongé dans l'eau le tuyau AB par le gros bout B, mais assez profondément pour faire arriver l'eau jusqu'en D, c'est-à-dire, de 2 ou 3 lignes dans le petit diametre : alors il a pu relever le tuyau de 2 pouces hors de l'eau, sans que l'eau retombe, quoique la très-grande partie de cette colonne de 2 pouces fût dans le gros tuyau. Ensuite il a plongé le même tuyau par le petit bout G, de maniere à faire arriver l'eau jusqu'en F, c'est-à-dire, d'environ 2 lignes dans le gros diametre : alors il n'a pu relever le tuyau de plus de 6 lignes hors de l'eau, sans que l'eau retombât, quoique la plus grande partie de cette colonne de 6 lignes fût dans le petit diametre. D'où M. *Jurin* conclut que l'élévation de la liqueur ne dépend que de l'attraction du cercle annulaire de la surface intérieure du tuyau, où se termine la colonne de liqueur, puisque cette élévation change avec le diametre de cet anneau.

355. M. *Jurin*, ne tendant qu'à la connoissance de la vérité, ne dissimule rien de ce qui peut infirmer son opinion. L'expérience précédente (354) peut être faite de maniere qu'elle prouve trop, & qu'elle devienne elle même un nouveau phénomene, qui exige une nouvelle explication.

Fig. 48. EXPÉRIENCE. Au lieu du tuyau AB (*fig.* 48),
Fig. 49. il emploie un entonnoir IKL (*fig.* 49), qui peut

avoir plusieurs pouces de largeur, & qui est terminé par un tuyau capillaire H; supposons encore que ce tuyau capillaire soit d'un diametre tel, que l'eau puisse s'y élever de 2 pouces au dessus de son niveau. Si l'on plonge cet entonnoir renversé assez profondément pour que l'eau arrive dans le tuyau capillaire H, on pourra alors soulever l'entonnoir d'environ 2 pouces hors de l'eau, sans que l'eau retombe. Si l'attraction du cercle annulaire soutient la colonne HI, quelle est la cause qui soutient la grande quantité d'eau qui environne cette colonne? On a répondu que cette masse d'eau étoit soutenue par l'attraction & l'adhérence de la partie concave LK de l'entonnoir.

356. Mais M. *Jurin* détruit encore cette explication par une nouvelle expérience.

Expérience. Il s'est servi d'un entonnoir qui avoit la forme de celui de la *fig.* 50, & qui étoit aussi terminé par un tuyau capillaire. Il l'a plongé, mais de maniere à ne le remplir que jusqu'à quelques lignes de la partie concave : ensuite, avec le bout du doigt mouillé, il a introduit une goutte d'eau dans le tuyau capillaire. Alors il a soulevé hors de l'eau une partie de l'entonnoir, telle qu'il y avoit au dessus du niveau une colonne d'une hauteur égale à celle qu'auroit pu soutenir un tuyau capillaire du même diametre que celui qui terminoit l'entonnoir. On ne peut pas dire, en pareil cas, *Fig.* 50.

que c'eſt l'adhérence de la partie concave de l'entonnoir qui ſoutient la colonne, puiſqu'il n'y a pas de contact.

357. Si nous voulons être de bonne foi, nous avouerons ingénument que nous ne ſommes pas encore aſſez inſtruits ſur les cauſes (car il y en a peut-être pluſieurs qui agiſſent enſemble) de l'aſcenſion des liqueurs au deſſus de leur niveau dans les tuyaux capillaires. Mais ce ſont des faits conſtans qui peuvent ſervir à en expliquer d'autres; comme la peſanteur, dont la vraie cauſe ne nous eſt pas bien connue, ſert à expliquer beaucoup de phénomenes. L'élévation des liqueurs dans les tuyaux capillaires m'explique pourquoi une bûche debout ſe trouve humide juſqu'au haut, quoiqu'elle ne ſoit qu'en partie plongée dans l'eau. Cela m'explique comment la ſeve s'éleve depuis les racines juſqu'aux extrémites des branches d'un arbre. Dans l'un & l'autre, il y a une grande quantité de tuyaux capillaires. Le corps humain, ainſi que celui des animaux, eſt une machine hydraulique; & dans le nombre preſque infini de tuyaux qui le compoſent, celui des capillaires eſt ſans comparaiſon le plus grand. Il n'eſt donc pas étonnant que les fluides paſſent ſi promptement & ſi aiſément d'un endroit à l'autre. Il y a une grande quantité d'autres phénomenes, qui ne ſont que des dépendances de ceux des tuyaux capillaires.

De

De l'Hydraulique; ou des Mouvemens des Fluides.

358. On appelle *hydraulique*, la Science qui a pour objet les mouvemens des fluides. C'eſt d'après les principes ſur leſquels eſt fondée cette Science, qu'on trouve les moyens de conduire les eaux d'un lieu à un autre, par des canaux, des aqueducs, des pompes & autres machines hydrauliques; & de les élever, tant pour les rendre jailliſſantes, que pour d'autres uſages.

Ce que nous allons dire dans ce chapitre, eſt en grande partie extrait de l'*hydrodynamique* de M. *l'Abbé Boſſut*, Ouvrage dans lequel il a rendu compte d'une très-belle ſuite d'expériences qu'il a faites ſur cette matiere, & qui ſont bien propres à guider dans la pratique. Ce ſont les réſultats de ces expériences que nous allons donner ici.

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par de petits orifices.

359. Lorſque l'eau s'écoule d'un vaſe percé à ſon fond d'un orifice qui ſoit petit en comparaiſon de la largeur du vaſe; 1°. l'eau deſcend verticalement, & la ſurface paroît plane; mais à 3 ou 4 pouces du fond, les particules ſe détournent de cette direction, & viennent de tous

côtés, suivant des mouvemens plus ou moins obliques, gagner l'orifice. Il en est de même lorsque l'eau sort par une ouverture latérale. La tendance de ces particules vers l'orifice est une suite nécessaire de leur parfaite mobilité ; car elles doivent se diriger vers le point qui résiste le moins aux forces qui les pressent : or l'endroit de l'orifice est ce point de moindre résistance.

360. 2°. A une petite distance du fond, il commence à se former un entonnoir, dont la pointe répond au centre de l'orifice. Lorsque l'eau sort par une ouverture latérale, il ne se forme qu'une espece de demi-entonnoir, & qui ne paroît commencer que quand la surface est près de toucher le bord supérieur du trou. Il est probable que l'entonnoir commence à se former dès le premier moment de l'écoulement ; mais il ne devient sensible que lorsque la surface est à une petite distance du fond ; parce que, lorsque cette surface en est loin, les parties inférieures pressées par les supérieures, sont portées rapidement dans la direction de l'écoulement. La vraie cause de la formation de l'entonnoir est l'inégalité de pression de la part de l'air au dessus & au dessous de l'orifice ; parce que l'eau, en tombant par cet orifice, repousse l'air, & détruit une partie de sa réaction.

Il paroît que l'entonnoir commence à une

hauteur d'autant plus grande au dessus du fond, que le fond est plus large; & que la formation de l'entonnoir est moins prompte ou moins sensible, à mesure que l'orifice augmente comparativement à l'étendue du fond. L'aspérité plus ou moins grande du fond & des parois du vase contribue aussi à augmenter plus ou moins l'entonnoir.

361. La vîtesse de l'eau, à sa sortie d'un vase par un petit orifice percé à son fond, est égale à celle qu'acquerroit un corps grave en tombant de la hauteur verticale de la surface du fluide au dessus de l'orifice (255).

362. La même chose a lieu pour un orifice latéral; car la pression du fluide est égale (à même profondeur) en toutes sortes de sens (288), & doit par conséquent produire la même vîtesse.

363. La liqueur, au sortir de l'orifice, a une vîtesse capable de la faire remonter à une hauteur verticale égale à celle de la surface du fluide au dessus de l'orifice : de même qu'un corps, en tombant par sa pesanteur d'une certaine hauteur, acquiert une vîtesse capable de le faire remonter à cette hauteur (255).

364. On voit de même, par la théorie de la chûte des graves (217), que, si la vîtesse de la liqueur, au sortir de l'orifice, étoit continuée uniformément, la liqueur parcourroit un espace

double de la hauteur de la liqueur au dessus de l'orifice, pendant le même temps qu'un corps pesant emploieroit à tomber de cette hauteur.

365. Cette hauteur étant la même, la vîtesse du fluide, au sortir de l'orifice, sera toujours la même, quelle que soit l'espece du fluide, & quelle que soit sa densité, puisqu'elle a constamment pour valeur la vîtesse due à cette hauteur. Il est bien vrai que, lorsque la liqueur a plus de densité, elle presse davantage; mais aussi la masse chassée est plus considérable. En général, il est évident que, lorsque les forces motrices sont proportionnelles aux masses qu'elles mettent en mouvement, les vîtesses sont égales.

366. Les quantités de liqueur qui sortent dans le même temps par des orifices différens, chacune sous des hauteurs ou charges constantes (en supposant par conséquent que les vases sont entretenus également pleins pendant toute la durée de l'écoulement), sont entre elles comme *les produits des aires des orifices par les racines quarrées des hauteurs*. Par exemple, l'expérience a appris qu'un orifice circulaire de 1 pouce de diametre, percé dans une mince parois, sous 4 pieds de charge, fournit dans 1 minute de temps, 5436 (373) pouces cubes d'eau. Si l'on veut savoir ce que fournira, dans le même temps, un orifice circulaire de 2 pouces de diametre, sous 9 pieds

de charge, on fera la proportion ſuivante. (Il faut obſerver que l'orifice de 2 pouces eſt 4 fois auſſi grand que l'orifice de 1 pouce; parce que les aires des cercles ſont comme les quarrés des diametres). $1 \times \sqrt{4} : 4 \times \sqrt{9} :: 5436 : x$, ou $2 : 12 :: 5436$ pouces cubes : 32616 pouces cubes d'eau. C'eſt cette derniere quantité que fournira l'orifice de 2 pouces de diametre, ſous 9 pieds de charge.

367. Si l'on remplit d'eau un vaſe priſmatique, & qu'on lui permette de ſe vider entiérement par un orifice fait à ſon fond, & qu'on meſure le temps qu'il met à ſe vider; qu'enſuite l'ayant rempli de nouveau, on l'entretienne conſtamment plein, tandis que l'eau ſort par l'orifice : il ſortira, dans ce ſecond cas, pendant le même intervalle de temps que le vaſe a mis d'abord à ſe vider entiérement, une quantité d'eau double de celle qui eſt ſortie dans le premier cas, abſtraction faite de l'entonnoir (360) qui, dans ce ſecond cas, n'a pas lieu.

368. Dans la pratique, les eaux ſortent ſouvent par des ouvertures latérales, qui, quoique petites en comparaiſon des largeurs des réſervoirs, ne peuvent cependant pas être cenſées avoir tous leurs points à égales diſtances de la ſurface du fluide. Tels ſont, par exemple, les pertuis des moulins. Alors la méthode ordinaire eſt de dé-

terminer l'écoulement d'après le raisonnement suivant. Concevons d'abord que l'orifice soit bouché par une plaque, & qu'ensuite on perce cette plaque d'un grand nombre de trous par lesquels l'eau s'échappe. En regardant chacun de ces trous comme un orifice particulier & isolé, la vîtesse pour chacun sera due à la hauteur correspondante du fluide. Donc, si l'on multiplie le nombre des trous à l'infini, ou, ce qui revient au même, si l'on imagine que la plaque entiere soit ôtée, la vîtesse, en chacun des points de l'orifice proposé, sera due à la hauteur correspondante du fluide : & dans la détermination de la quantité d'eau écoulée, il faudra avoir égard à cette inégalité de vîtesses.

369. On ne peut cependant pas se dissimuler que ce raisonnement n'est pas bien concluant. Tant que la somme des petits trous percés dans la plaque substituée à l'orifice, est fort petite en comparaison de la largeur du réservoir, les portions de liqueurs qui sortent par chaque trou, sont chassées par les poids absolus des colonnes supérieures. Mais du moment que le nombre des trous augmente à l'infini, & que les filets deviennent contigus les uns aux autres, on ne voit pas clairement qu'ils doivent sortir de la même maniere qu'ils sortiroient par de petits trous isolés. Cependant, comme cette hypothese donne des

résultats assez conformes à l'expérience, il peut être utile de la conserver, d'autant plus qu'elle mène a des calculs fort simples; & que dans les questions usuelles, il faut rechercher cette simplicité autant qu'il est possible.

370. La quantité d'eau qui sort par ces orifices, dans un temps donné, n'est pas aussi grande que semble le promettre la grandeur de leur ouverture; parce que la veine fluide se contracte au sortir de l'orifice; & cela jusqu'à une distance qui égale à peu près la moitié du diametre de l'orifice : & le diametre de la veine contractée est au diametre de l'orifice comme un peu plus de 3 à 4, ou comme $3\frac{1}{6}$ à 4, ou 19 à 24. De sorte que son aire est à celle de l'orifice comme 10 à 16. C'est à peu près la même chose lorsque l'eau s'écoule par des ouvertures latérales. La contraction de la veine fluide est une preuve de ce que nous avons dit ci-dessus (359), savoir, que dans l'intérieur du vase les particules latérales se dirigent vers l'orifice suivant des mouvemens plus ou moins obliques : & ce mouvement oblique peut se décomposer en deux autres; l'un parallele au plan de l'orifice, & qui resserre la veine fluide; l'autre perpendiculaire au même plan, & le seul qui produise l'écoulement.

371. Cette contraction a lieu aussi quand on fait écouler l'eau par des tuyaux, & cela à l'entrée

de l'eau dans ces tuyaux, & non pas à sa sortie; où la veine fluide conserve la forme cylindrique. L'on verra ci-après que cette contraction diminue, d'une maniere sensible, les quantités d'eau que ces tuyaux devroient fournir naturellement.

372. Pour s'assurer de tous ces faits par des expériences, on en a fait un grand nombre, dont je ne donne ici que les résultats. Dans tous les cas, les orifices par lesquels s'est fait l'écoulement, étoient percés bien perpendiculairement dans des plaques de cuivre d'environ $\frac{1}{2}$ ligne d'épaisseur : & les temps des écoulemens, pour chaque expérience, sont réduits à 1 minute.

373. *Hauteur constante de l'eau au dessus du centre de chaque orifice = 11 pieds 8 pouces 10 lignes.*	*Nombre de pouces cubes fournis en 1 minute.*
EXPÉR. 1. Par un orifice horizontal & circulaire de 6 lignes de diametre..	2311
2. Par un orifice horizontal & circulaire de 1 pouce de diametre.	9281
3. Par un orifice horizontal & circulaire de 2 pouces de diametre.	37203
4. Par un orifice horizontal & rectangulaire de 1 pouce de long sur 3 lignes de large.........	2933
5. Par un orifice horizontal & quarré de 1 pouce de côté..........	11817
6. Par un orifice horizontal & quarré de 2 pouces de côté.........	47361
Hauteur constante = 9 pieds.	
7. Par un orifice latéral & circulaire de 6 lignes de diametre.......	2018
8. Par un orifice latéral & circulaire de 1 pouce de diametre........	8135
Hauteur constante = 4 pieds.	
9. Par un orifice latéral & circulaire de 6 lignes de diametre.......	1353
10. Par un orifice latéral & circulaire de 1 pouce de diametre.......	5436
Hauteur constante = 7 lignes.	
11. Par un orifice latéral & circulaire de 1 pouce de diametre.......	628

374. Il suit de ces expériences, 1°. que *les dépenses d'eau faites en temps égaux par différens orifices sous une même hauteur de réservoir, sont entre elles, à peu de chose près, comme les aires de ces orifices.* Comparez ensemble les résultats de la 2ᵉ. & de la 3ᵉ. expérience, dont les aires des orifices sont dans le rapport de 1 à 4; & vous trouverez que les deux dépenses, 9281 pouces cubes & 37203 pouces cubes sont, à peu de chose près, dans le même rapport.

375. 2°. Que *les dépenses d'eau faites en temps égaux par une même ouverture, sous différentes hauteurs de réservoirs, sont entre elles, à peu de chose près, comme les racines quarrées des hauteurs correspondantes de l'eau dans le réservoir au dessus des centres des mêmes ouvertures.* Comparez ensemble les résultats des 8ᵉ. & 10ᵉ. expériences, où les hauteurs des réservoirs sont 9 pieds & 4 pieds, dont les racines quarrées sont 3 & 2; & vous trouverez que les deux dépenses, 8135 pouces cubes & 5436 pouces cubes, que fait un même orifice de 1 pouce de diametre, sous 9 pieds & ensuite 4 pieds de charge, sont entre elles sensiblement dans le rapport de 3 à 2.

376. 3°. Qu'en général *les quantités d'eau dépensées, pendant le même temps, par différentes ouvertures, sous différentes hauteurs de*

réservoirs, sont entre elles en raison composée des aires des ouvertures & des racines quarrées des hauteurs des réservoirs.

377. 4°. Mais que *le frottement est cause que, de plusieurs orifices de figures semblables, les petits fournissent moins à proportion que les grands, sous une même hauteur d'eau dans le réservoir.* Parce que, comparativement à l'étendue de l'aire de chaque orifice, il y a plus de points frottans contre les bords de l'orifice dans les petits, qu'il n'y en a dans les grands; car les circonférences ne diminuent pas autant que les aires.

378. 5°. Que *de plusieurs orifices d'aires égales, celui dont le périmetre est le moindre, doit, à cause du frottement, fournir plus d'eau que les autres, sous une même hauteur de réservoir.* Ainsi les orifices circulaires sont, à cet égard, les plus avantageux de tous : car la circonférence du cercle est la plus courte de toutes les lignes qu'on peut choisir pour renfermer un espace donné. Il y a donc moins de surface frottante relativement à la grandeur de l'aire.

379. Il est aisé de voir que ces quantités d'eau dépensées dans les expériences ci-dessus (373), ne sont pas, à beaucoup près, aussi grandes qu'elles devroient l'être*, vu l'étendue des aires des ouvertures, & les hauteurs des réservoirs : le frottement, & sur-tout la contraction de la veine

fluide (370) diminuent beaucoup la dépense; car la vîtesse qui est due à la hauteur entiere du fluide dans le réservoir, n'est pas sensiblement altérée. La différence de ces dépenses d'eau, en supposant, 1°. que l'aire de la veine fluide est la même que celle de l'orifice, 2°. que cette veine est contractée; cette différence, dis-je, est, à peu près, comme de 16 à 10; c'est-à-dire qu'en supposant l'aire de l'orifice diminuée dans le rapport de 16 à 10 (370), on pourra déterminer assez exactement les écoulemens des fluides qui sortent de vases entretenus également pleins. Nous donnerons ci-après (397) une table de ces différences.

380. On appelle un *pouce d'eau*, la quantité qu'en fournit un orifice circulaire & latéral de 1 pouce de diametre, la surface de l'eau étant entretenue constamment à 7 lignes au dessus du centre de cet orifice. C'est le cas de la 11e. expérience, où l'on voit que la quantité d'eau fournie est 628 pouces cubes qui font 13 $\frac{1}{12}$ pintes, chaque pinte contenant 48 pouces cubes, puisqu'il y a 36 pintes au pied cube. M. *Mariotte*, qui a fait la même expérience, a trouvé la dépense un peu plus forte; mais il est probable qu'il s'y est glissé quelque erreur; car la 11e. expérience que je viens de citer, a été faite avec le plus grand soin. Une pinte d'eau, au lieu de

peser 2 livres, comme on le croit communément, ne pese donc que 1 livre 15 onces 0 gros 64 grains.

Ecoulemens des Fluides ou Liqueurs par des tuyaux additionnels.

381. Lorsqu'au lieu de faire sortir l'eau d'un vase par un orifice percé dans une mince paroi, on la fait sortir par un bout de tuyau vertical additionnel, de même diametre que l'orifice, la dépense de l'eau est plus considérable, parce que la contraction de la veine fluide (370) est plus grande dans le premier cas que dans le second, comme cela va être prouvé par expérience.

382. La hauteur constante de l'eau dans le réservoir, au dessus de la base supérieure du tuyau additionnel vertical, est de 11 pieds 8 pouces 10 lignes; & le diametre du tuyau est de 1 pouce.

383. *Hauteurs variables du tuyau exprimées en lignes.*			*Nombre de pouces cubes d'eau dépensés en 1 minute.*
EXPÉR.	1. 48 lig.	L'eau sortant à plein tuyau.	12274
	2. 24		12188
	3. 18		12168
	4. 18	L'eau ne suivant pas les parois.	9282

384. On voit que plus ce tuyau vertical est long, plus la dépense est grande, parce que la contraction de la veine fluide est moindre; comme on le voit en comparant les trois premieres expériences: mais il y en a toujours une, quoique l'eau paroisse sortir à plein tuyau.

385. En comparant les quantités d'eau dépensées dans la troisieme & la quatrieme expérience, on voit que les deux dépenses, 12168 pouces cubes & 9282 pouces cubes, sont entre elles, à peu près, dans le rapport de 13 à 10. Or nous avons vu ci-dessus (370) que l'eau sortant par un orifice percé dans une mince paroi, si la veine fluide ne se contractoit point, la dépense par cet orifice seroit à la dépense par ce même orifice, la veine se contractant, environ comme 16 est à 10. On doit donc conclure de là, que *la hauteur de*

l'eau dans le réservoir & l'orifice de sortie étant les mêmes, la dépense par un orifice percé dans une mince paroi & dans lequel il n'y auroit pas de contraction de veine; la dépense par un bout de tuyau additionnel; & la dépense par un orifice percé dans une mince paroi, & dans lequel il y a contraction de veine, sont entre elles, à peu de chose près, comme les trois nombres 16, 13, 10. Ces rapports sont assez exacts pour la pratique.

386. Ceci prouve que les tuyaux additionnels ne détruisent qu'en partie la contraction de la veine fluide. La plus sensible de toutes, & que, par cette raison, on appelle *contraction de la premiere espece*, est celle qui a lieu au sortir d'un petit orifice percé dans une mince paroi d'un grand réservoir.

387. Si le tuyau additionnel, au lieu d'être vertical ou placé au fond du réservoir, étoit horizontal ou placé sur le côté du réservoir, il donneroit la même quantité d'eau, pourvu qu'il eût toujours la même longueur, & que l'orifice extérieur fût placé à la même profondeur au dessous de la surface de l'eau dans le réservoir.

388. Si le tuyau additionnel, au lieu d'être cylindrique, étoit conique, ayant sa plus grande base du côté du réservoir, il fourniroit une plus grande quantité d'eau. La forme la plus avantageuse qu'on peut lui donner, pour avoir la plus

grande quantité d'eau, dans un temps donné, par un orifice déterminé, eſt celle que prend naturellement la veine fluide, à la ſortie d'un orifice percé dans une mince paroi. C'eſt-à-dire qu'il faut donner à ce tuyau la forme d'un cône tronqué, dont la petite baſe ait pour diametre celui de l'orifice par lequel on déſire que ſe faſſe l'écoulement. Il faut de plus que l'aire de la petite baſe ſoit à l'aire de la grande, comme 10 eſt à 16; & que la diſtance d'une baſe à l'autre ſoit, à peu près, égale au demi-diametre de la grande baſe. Le reſte de la longueur du tuyau peut être cylindrique ou priſmatique. Alors l'écoulement ſera auſſi abondant que celui qui auroit lieu par un orifice égal à la petite baſe, percé dans une mince paroi, & dans lequel la veine fluide ne ſouffriroit aucune contraction.

389. Cette forme peut avoir ſon application à la pratique, lorſqu'il s'agit de dériver une certaine quantité d'eau d'une riviere, d'un aqueduc, &c. par un canal ou tuyau latéral.

390. Si l'on compare maintenant les écoulemens faits par des tuyaux additionnels de différens diametres, & ſous différentes hauteurs de réſervoirs, on a les réſultats ſuivans; les tuyaux additionnels ayant 2 pouces de long, & étant verticaux, ou placés au fond du réſervoir.

391.

391. *Hauteurs constantes de l'eau au dessus de l'orifice.*	*Diametres des tuyaux exprimés en lignes.*	*Nombres de pouces cubes fournis pendant 1 minute.*
EXPÉR. 1.	6 } L'eau sortant à plein tuyau.	1689
2.	10	4703
3. 3 pieds 10 pouces ou 552 lignes.	6 } L'eau ne suivant pas les parois.	1293
4.	10	3598
5.	6 } L'eau sortant à plein tuyau.	1222
6.	10	3402
7. 2 pieds ou 288 lignes.	6 } L'eau ne suivant pas les parois.	935
8.	10	2603

392. Il résulte de ces expériences, 1°. que *les dépenses par différens tuyaux additionnels, sous une même hauteur d'eau dans le réservoir, sont sensiblement proportionnelles aux aires des orifices ou aux quarrés de leurs diametres.*

393. 2°. Que *les dépenses par des tuyaux additionnels de même diametre, sous différentes hauteurs d'eau dans le réservoir, sont sensiblement proportionnelles aux racines quarrées des hauteurs des réservoirs.*

394. 3°. Qu'en général, *les dépenses faites, pendant le même temps, par différens tuyaux additionnels, sous différentes hauteurs d'eau dans le réservoir, sont entre elles, à peu de chose près, comme les produits des quarrés des diametres des*

tuyaux par les racines quarrées des hauteurs des réservoirs.

395. On voit par-là que les écoulemens par des tuyaux additionnels suivent entre eux les mêmes loix que ceux qui se font par des orifices percés dans de minces parois (374 & *suiv.*)

396. D'après toutes ces expériences, on peut former la table suivante des dépenses d'eau, par un orifice donné, percé dans une mince paroi, en supposant que la veine fluide ne souffrît aucune contraction ; ou par le même orifice, avec contraction de veine ; ou par le même orifice garni d'un tuyau additionnel.

397. *Hauteurs constantes de l'eau dans le réservoir au dessus de l'orifice, exprimées en pieds.*	*Dépenses d'eau pendant 1 minute, par un orifice de 1 pouce de diametre, sans contraction de veine, exprimées en pouces cubes.*	*Dépenses d'eau pendant 1 minute, par un tuyau additionnel de 1 pouce de diametre & 2 pouces de long, exprimées en pouces cubes.*	*Dépenses d'eau pendant 1 minute, par un orifice de 1 pouce de diametre, avec contraction de veine, exprimées en pouces cubes.*
1	4381	3539	2722
2	6169	5002	3846
3	7589	6126	4710
4	8763	7070	5436
5	9797	7900	6075
6	10732	8654	6654
7	11592	9340	7183
8	12392	9975	7672
9	13144	10579	8135
10	13855	11151	8574
11	14530	11693	8990
12	15180	12205	9384
13	15797	12699	9764
14	16393	13197	10130
15	16968	13620	10472

Des Jets d'eau.

398. Quelle que soit la direction d'un jet, la dépense d'eau qu'il fait est toujours la même, pourvu que l'ajutage & la hauteur du réservoir au dessus de l'ajutage soient les mêmes. Cela est une suite nécessaire de la pression égale des fluides en tous sens (288).

399. L'eau, au sortir d'un ajutage quelconque très-petit, a une vîtesse capable de la faire re-

monter à la hauteur de la ſurface de l'eau dans le réſervoir (363) : ainſi les jets verticaux s'éleveroient, ſi rien ne les en empêchoit, à la hauteur entiere de leurs réſervoirs.

Pluſieurs cauſes concourent à diminuer l'élévation des jets verticaux : 1°. le frottement dans les tuyaux depuis le réſervoir juſqu'à l'ajutage (434) : 2°. le frottement contre le circuit de l'orifice : 3°. la réſiſtance que l'air oppoſe au mouvement de la colonne : 4°. le poids des particules d'eau qui, en montant, ont perdu toute leur vîteſſe, & qui retombent ſur celles qui montent encore. Car en inclinant un peu le jet, il s'éleve un peu plus haut que quand il eſt exactement vertical. Mais, dans ce cas-là, il ne produiroit pas un effet auſſi agréable aux yeux, que lorſque la gerbe retombe perpendiculairement ſur elle-même.

400. Lorſque l'ajutage ſe dirige obliquement à l'horizon, la force de projection & la peſanteur de l'eau font que le jet décrit ſenſiblement une parabole (275), dont l'amplitude eſt d'autant plus grande, que la hauteur du réſervoir eſt plus conſidérable ; car elle y eſt proportionnelle.

401. Lorſque l'ajutage ſe dirige horizontalement, le jet décrit une demi-parabole.

402. Les jets d'eau s'élevent d'autant plus haut, que les ouvertures des ajutages ſont plus grandes ;

parce que de deux jets d'eau qui, venant du même réservoir, sortent de leurs ajutages avec des vîtesses égales, le plus gros, 1°. éprouve moins de frottemens, 2°. a plus de masse, & par conséquent plus de force pour vaincre les obstacles. Mais quoique les gros jets s'élevent plus haut que les petits, ils ne dépensent cependant pas plus d'eau à proportion que ces derniers : car la dépense est comme le produit de l'ouverture de l'ajutage par la vîtesse au sortir de l'ajutage (364); & cette vîtesse est sensiblement la même pour l'un & pour l'autre, abstraction faite des frottemens.

403. Pour que les gros jets s'élevent plus haut que les petits, il faut cependant que les tuyaux de conduite soient assez gros pour fournir les eaux avec une abondance suffisante; car s'ils sont fort étroits, l'expérience prouve que les petits jets s'élevent plus que les gros. Il faut donc que le diametre du tuyau de conduite ait une certaine grandeur par rapport à celle de l'ajutage, pour que le jet s'éleve à la plus grande hauteur où il puisse atteindre. Si donc l'on compare deux jets d'eau différens, & que l'on veuille que chacun s'éleve à sa plus grande hauteur, il faut que *les quarrés des diametres des tuyaux de conduite soient entre eux en raison composée des quarrés des diametres des ajutages & des racines quarrées des*

hauteurs des réservoirs. Ainsi, si l'on connoît par expérience le diametre que doit avoir un tuyau de conduite, pour fournir à la dépense d'un ajutage donné, sous une hauteur donnée de réservoir, on déterminera le diametre de tout autre tuyau, pour fournir à un autre ajutage donné, sous une hauteur donnée de réservoir.

404. L'expérience a appris que, pour un ajutage de 6 lignes de diametre, & sous une hauteur de réservoir de 52 pieds, le diametre du tuyau de conduite doit être d'environ 39 lignes; & que, pour un ajutage de 6 lignes de diametre, & sous une hauteur de réservoir de 16 pieds, le diametre du tuyau de conduite doit être d'environ 28 $\frac{1}{2}$ lignes. Il n'y a aucun inconvénient à donner au tuyau de conduite un diametre plus grand que ne l'exige la regle ci-dessus; & il y en auroit un à lui en donner un plus petit.

405. On fait quelquefois les ajutages en forme de cônes ou de cylindres: on a tort. Les ajutages cylindriques sont les plus désavantageux de tous. Les ajutages qui procurent le plus d'élévation aux jets, sont ceux qui sont percés dans la platine horizontale qui ferme l'extrémité du tuyau. Il faut que cette platine soit bien polie, mince, d'une épaisseur uniforme, & percée perpendiculairement.

406. Il résulte de la comparaison de plusieurs

expériences faites sur les jets d'eau, que *les différences des hauteurs des jets verticaux, aux hauteurs de leurs réservoirs, sont entre elles sensiblement comme les quarrés des hauteurs des jets.* Si donc l'on connoît par expérience la quantité dont il s'en faut qu'un jet s'éleve à la hauteur de son réservoir, on connoîtra par une simple proportion, la quantité dont il s'en faudra que tout autre jet de hauteur donnée s'éleve à la hauteur de son réservoir. Si l'on veut connoître la hauteur du réservoir, on n'aura qu'à ajouter à la hauteur du jet la quantité trouvée par la proportion.

407. Lorsqu'on est obligé de couder les tuyaux de conduite, il faut éviter, autant qu'on peut, de les couder à angle droit; car le choc du courant, contre ces sortes d'angles, détruit une partie de la vîtesse, & fatigue beaucoup le tuyau de conduite.

408. Nous ajoutons ici une table, pour faciliter l'application des principes que nous venons d'établir.

On trouve dans les deux premieres colonnes les hauteurs des jets & les hauteurs correspondantes des réservoirs. La troisieme colonne contient, en pintes de Paris, dont 36 forment le pied cube, les dépenses pendant 1 minute par un ajutage de 6 lignes de diametre, relativement

aux hauteurs de la ſeconde colonne. Connoiſſant des dépenſes par un ajutage de 6 lignes, une ſimple proportion fera connoître les dépenſes par tout autre ajutage ſous même hauteur dans le réſervoir ; puiſqu'il a été prouvé (374) que les dépenſes ſont alors entre elles comme les aires des ajutages, ou comme les quarrés des diametres de ces ajutages. Dans la quatrieme colonne on trouve les diametres que doivent avoir les tuyaux de conduite pour un ajutage de 6 lignes de diametre, relativement aux hauteurs de la ſeconde colonne. On connoîtra les diametres des tuyaux de conduite pour d'autres ajutages & d'autres hauteurs de réſervoir, en ſuivant la regle établie ci-deſſus (403).

Nota. Relativement aux deux dernieres colonnes, on a négligé les fractions dans le calcul.

409. Hauteurs des jets exprimées en pieds.	Hauteurs des réservoirs exprimées en pieds & pouc.		Dépenses en 1 minute par un ajutage de 6 lignes de diametre, exprimées en pintes de Paris.	Diametres des tuyaux de conduite relatifs aux 2e. & 3e. colonnes, exprimés en lignes.
5 pieds	5 pi.	1 po.	32 pintes.	21 lignes.
10	10	4	45	26
15	15	9	56	28
20	21	4	65	31
25	27	1	73	33
30	33	0	81	34
35	39	1	88	36
40	45	4	95	37
45	51	9	101	38
50	58	4	108	39
55	65	1	114	40
60	72	0	120	41
65	79	1	125	42
70	86	4	131	43
75	93	9	136	44
80	101	4	142	45
85	109	1	147	46
90	117	0	152	47
95	125	1	158	48
100	133	4	163	49

Des Pompes.

410. Les pompes sont des machines hydrauliques destinées à élever de l'eau. Elles sont composées de cylindres creux AB (*fig.* 51.) ou EF (*fig.* 53.) intérieurement bien alaisés, & d'un diametre bien égal dans toute leur longueur, que l'on appelle *corps de pompe*, dans lesquels on Fig. 51. Fig. 53.

fait glisser un bouchon I, appelé *piston*, que l'on met en jeu par le moyen d'une tige de métal Xx, à l'extrémité X de laquelle on adapte le moteur, à l'aide d'un levier XY, ou de quelque autre machine: à cela on joint un tuyau mon-
Fig. 51. tant AT (*fig.* 51.), pour conduire l'eau à la hauteur qu'on désire; & enfin des clapets ou soupapes S, *s*.

411. Il y a plusieurs especes de pompes. Les unes sont foulantes; les autres sont aspirantes: & il y en a qui sont tout à la fois aspirantes & foulantes.

412. Il y a deux manieres de construire les
Fig. 51. pompes foulantes. Dans les unes (*fig.* 51.), la colonne d'eau qu'on éleve, repose sur le piston
Fig. 52. que l'on tire: dans les autres (*fig.* 52.), la colonne d'eau résiste au piston que l'on pousse. Les premieres peuvent être appelées *pompes foulantes soulevantes*; & les secondes, *pompes foulantes repoussantes*.

Fig. 51. 413. La pompe foulante soulevante (*fig.* 51.) est composée d'un corps de pompe AB, à la partie inférieure duquel est placé un bout de tuyau BN, ouvert par le bas, ou mieux encore percé de trous dans toute sa longueur, de maniere que les ordures grossieres ne puissent arriver jusqu'au corps de pompe. A la réunion de ce bout de tuyau avec le corps de pompe, est une

soupape *s*, qui, en se soulevant, permet à l'eau d'entrer dans le corps de pompe, mais qui, ensuite en s'abaissant, ne lui permet pas d'en sortir. Dans ce corps de pompe est un piston I, percé de part en part, garni dans sa partie supérieure d'une soupape S, & surmonté d'une fourchette *x*, par laquelle il est joint, au moyen d'une tête fendue comme celle d'un compas, à la tige *x*X qui le met en jeu, à l'aide du levier du premier genre (477) XZY, qui a son point d'appui en Z. A la partie supérieure A du corps de pompe, est adapté le tuyau montant AT, qui a son tuyau de décharge en T. Cette pompe doit être assujettie d'une maniere quelconque dans le puits ou bassin, de façon que le corps de pompe AB soit tout entier au dessous de la surface de l'eau AA.

414. Maintenant, si l'on souleve le piston I en abaissant l'extrémité Y du levier YZX, de maniere que ce levier se trouve dans la position *y*Z*u*, ce piston s'élevera dans le corps de pompe AB d'une quantité égale à X*u*; pendant lequel temps, la soupape *s* se soulevant, l'eau passera du bassin dans la pompe, par la pression de l'eau extérieure (288). Que l'on abaisse ensuite le piston, cette pression fait fermer la soupape *s* & soulever la soupape S. Par-là, l'eau qui étoit au dessous du piston, se trouve par-dessus, & presse la soupape S contre son

trou ; ce qui l'empêche de repasser par-dessous ; lorsqu'on souleve de nouveau le piston. Un second coup de piston élevera donc cette quantité d'eau, & permettra, par le même mécanisme, à une nouvelle quantité de passer dans la pompe, & ensuite au dessus du piston, comme a fait la premiere : de sorte que, par un certain nombre de coups de piston, on parviendra à remplir le tuyau montant AT. Alors il sortira à chaque coups de piston, par le tuyau de décharge T, une masse d'eau égale à un cylindre qui aura pour base la largeur du piston, & pour longueur le chemin que le piston parcourra dans le corps de pompe. C'est ce chemin parcouru que l'on appelle *jeu du piston.*

415. Il est aisé de savoir quel est le poids de la colonne d'eau dont le piston est chargé, lorsque le tuyau montant est plein ; & en conséquence quelle est la force qu'il faut faire agir en Y pour faire jouer la pompe. Nous avons prouvé ci-dessus (294) que *les liqueurs pesent en raison de leur hauteur perpendiculaire, & de la largeur de la base qui s'oppose à leur chûte.* Dans une pompe, cette base est le piston, & la hauteur perpendiculaire est celle du tuyau montant au dessus de la surface de l'eau. Ainsi, quand le tuyau montant est plein, la charge sur le piston est égale au poids d'un cylindre d'eau qui auroit

pour diametre celui du piston; & pour hauteur, celle du tuyau montant au dessus de la surface de l'eau, quel que soit le diametre du tuyau montant : ce qui est aisé à calculer, lorsqu'on sait qu'un cylindre d'eau d'un pied de diametre & d'un pied de haut, pese 55 livres.

416. Il suit de là, qu'on ne diminue point le poids de la colonne d'eau, en diminuant le diametre du tuyau montant. On augmente même par-là la résistance qu'il faut vaincre, à cause de l'augmentation des frottemens, qui sont plus considérables dans les petits tuyaux que dans les gros (105); parce que les surfaces relatives augmentent, comme les diametres diminuent. Aussi, si ce n'étoit pas pour épargner la dépense, on auroit grand tort de faire, comme cela est cependant d'usage, les tuyaux montans plus petits que le corps de pompe. Il vaudroit mieux leur donner un diametre un peu plus grand que celui du corps de pompe : alors la colonne d'eau qu'on éleve, glisseroit dans un tuyau d'eau, & n'éprouveroit par conséquent que des frottemens de la seconde espece (97).

417. La pompe foulante repoussante est composée d'un corps de pompe CD (*fig.* 52), tout-à-fait fermé par le bas, entiérement ouvert par le haut, & dans lequel est un piston K, qui ne differe de celui de la précédente pompe (413) qu'en ce que sa soupape S est placée à sa partie infé- *Fig.* 52.

rieure. Ce piston, ainsi que celui de la pompe précédente, se met en jeu à l'aide d'un levier YXZ, mais du second genre (477), & qui a son point d'appui en Z. Son tuyau montant DO est placé à côté du corps de pompe, avec lequel il communique, & est garni d'une soupape *s* dans sa partie inférieure, & d'un tuyau de décharge O à sa partie supérieure. Cette pompe, ainsi que la précédente, doit être assujettie dans le puits ou bassin, de façon que le corps de pompe C D soit tout entier au dessous de la surface de l'eau A A.

418. L'eau remplit le corps de pompe, en tombant par l'ouverture C & passant au travers du piston K, dont la soupape S, vu sa position, se trouve naturellement ouverte. Si l'on vient à abaisser le piston K, en amenant le levier YXZ dans la situation *yu*Z, la résistance de l'eau contre la soupape S la ferme aussi-tôt. Cette eau ne pouvant donc pas repasser au dessus du piston, est obligée d'enfiler le tuyau montant DO, en soulevant la soupape *s*. Si-tôt qu'on releve le piston, la soupape *s* se ferme par la pression de l'eau qui est au dessus; & la soupape S s'ouvre, en retombant par son propre poids. Il passe donc une nouvelle masse d'eau au dessous du piston, qui, par un second abaissement du même piston, est contrainte de passer, comme la premiere, dans le

tuyau montant. De sorte que, par un certain nombre de coups de piston, on parvient à remplir le tuyau montant D O. Alors tout se passe comme dans la précédente pompe. Si dans l'une & dans l'autre le piston est de même diametre, & si les tuyaux montans sont de la même hauteur perpendiculaire, les poids des deux colonnes d'eau sont égaux; & ces deux pompes exigent la même force motrice pour être mises en jeu; car, dans ce cas-là, c'est la même chose, quant à cette force, ou qu'elle ait à élever le piston chargé de la colonne d'eau, ou qu'elle ait à pousser la colonne d'eau avec le piston.

419. La pompe aspirante (*fig.* 53.) est composée d'un corps de pompe E F, ouvert par le haut, & à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspiration F P. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape *s*, destinée à permettre, en se soulevant, à l'eau d'entrer du tuyau d'aspiration P F dans le corps de pompe F E; & à l'empêcher, en s'abaissant, d'en sortir par la même voie. Dans le corps de pompe est un piston L, tout-à-fait pareil à celui I (*fig.* 51.) de la premiere espece de pompe foulante, dont nous avons parlé ci-dessus (413), & qui se met en jeu de la même façon, & à l'aide d'un levier XZY (*fig.* 53.) du même genre. Cette pompe doit être assujettie de façon qu'il n'y ait que *Fig.* 53. *Fig.* 51. *Fig.* 53.

l'extrémité inférieure du tuyau d'aſpiration F P qui plonge dans l'eau.

420. Dans le moment de l'inaction de la pompe, les deux ſoupapes S & *s* ſont naturellement fermées par leur propre poids. Si l'on vient à ſoulever le piſton L, en amenant le levier XZY dans la ſituation *u Zy*, on ſouleve la colonne d'air qui repoſe deſſus; & l'air qui eſt renfermé dans le tuyau d'aſpiration, depuis la ſurface de l'eau *a* juſqu'au piſton, ayant alors plus de place à occuper, devient plus rare que l'air extérieur. Ce dernier preſſe donc avec avantage ſur la ſurface de l'eau *a*, & l'oblige à monter dans le tuyau d'aſpiration, juſqu'à ce que l'air intérieur ait repris ſa premiere denſité, en occupant moins de place. De ſorte qu'après quelques coups de piſton, l'eau arrive au corps de pompe, & paſſe au travers du piſton, en ſoulevant les ſoupapes *s* & S l'une après l'autre; lequel piſton, en s'élevant, oblige l'eau de s'échapper par le tuyau de décharge E.

421. Comme c'eſt la preſſion de l'air qui fait monter l'eau dans cette pompe, & que cette preſſion ne peut ſoutenir une colonne d'eau que d'environ 32 pieds (301), il eſt clair que le tuyau d'aſpiration ne doit pas avoir plus de longueur. Dans l'uſage ordinaire, on ne lui donne pas même 32 pieds. Pour que la preſſion de l'air pût ſoutenir une colonne d'eau de cette hauteur, il faudroit

faudroit, 1°. que la pompe aspirante fût faite avec la plus grande exactitude, & demeurât toujours telle; 2°. qu'elle fût placée au niveau de la mer, ou à peu près, parce que c'est là où la pression de l'air est la plus forte; 3°. que la pression de l'air ne variât point. Or le plus souvent ces données n'ont pas lieu. On se contente donc assez ordinairement de donner au tuyau d'aspiration 23 ou 24 pieds. Si l'on a à élever l'eau à une plus grande hauteur, il faut se servir de la pompe foulante. Il est vrai que l'usage de cette derniere est sujet à bien des inconvéniens. On est obligé de placer son corps de pompe dans le puits ou dans le bassin: & lorsqu'il y a à y travailler, ce qui n'arrive que trop souvent, il faut de deux choses l'une; ou vider le puits ou le bassin, ou en retirer le corps de pompe: ce qui est très-incommode & très-couteux. Pour éviter ces inconvéniens, ce qu'il y a à faire de mieux en pareil cas, c'est de rendre la pompe tout-à-la-fois aspirante & foulante, comme nous le verrons ci-après (425).

422. En 1766, on prétendit & l'on fit mettre dans les Papiers publics, qu'on avoit fait, à Séville en Espagne, une pompe simplement aspirante, qui élevoit l'eau à 60 pieds; & l'on conclut en conséquence, que jusqu'alors on s'étoit lourdement trompé, en disant que la pression de l'air ne pouvoit soutenir une colonne d'eau que de 32 pieds,

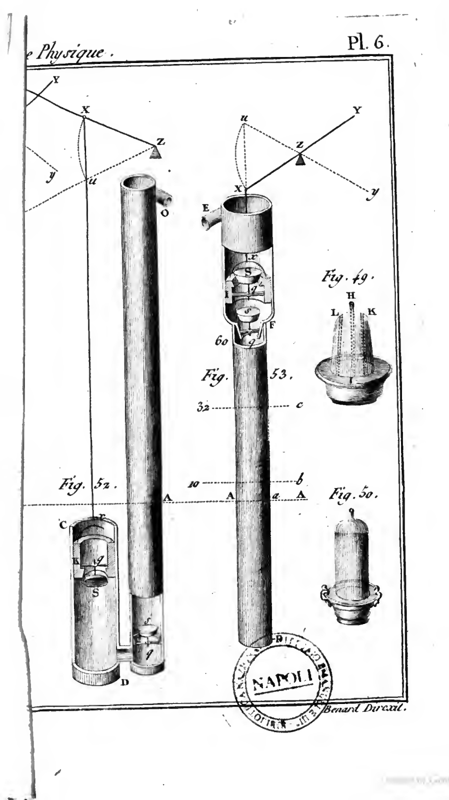
Voyons jusqu'à quel point cette prétention étoit fondée. Un Ferblantier peu instruit, construisit effectivement, à Séville, une pompe aspirante, au tuyau d'aspiration de laquelle il donna 60 pieds de longueur, parce qu'il avoit besoin d'élever l'eau à cette hauteur. Sa pompe en place, il la mit en jeu, & ne put jamais parvenir à faire arriver l'eau au corps de pompe. Soit impatience ou colere, il donna un coup de hache, & fit une petite ouverture au tuyau d'aspiration à environ 10 pieds au dessus de la surface de l'eau du bassin. Aussi-tôt il arriva une petite portion d'eau au corps de pompe. C'est d'après ce procédé qu'on a prétendu avoir fait une pompe aspirante, qui élevoit l'eau à 60 pieds. Le Lecteur peut juger cette prétention.

423. Supposons donc que le tuyau d'aspiration PF a, depuis *a*, surface de l'eau du bassin, jusqu'en F, 60 pieds de hauteur; & qu'après un certain nombre de coups de piston, on est parvenu à faire monter l'eau jusqu'en *c* à 32 pieds de hauteur. Si l'on fait alors un petit trou en *b* à 10 pieds au dessus de la surface de l'eau, l'air qui entre par ce petit trou, & qui exerce sa pression en toutes sortes de sens (301), fait tomber dans le bassin la colonne d'eau de 10 pieds qui est au dessous de *b*; & la pression que l'air exerce en *b* de bas en haut, n'a plus affaire qu'à une colonne d'eau de 22 pieds. Elle pourroit donc porter cette colonne, non pas

seulement à 60 pieds, mais à plus de 8000 pieds de hauteur. Car l'air, pris vers la surface de la terre, est plus de 800 fois moins dense que l'eau (885); & en supposant (ce qui n'est pas) que sa densité ne fût pas en diminuant, à mesure qu'on s'éleve, les 10 pieds d'eau retranchés équivaudroient donc à plus de 8000 pieds d'air. La colonne d'air qui presseroit en *b*, seroit donc trop forte de plus de 8000 pieds. Ainsi les 22 pieds d'eau restans ne seroient en équilibre avec la colonne d'air, qu'après être montés à plus de 8000 pieds. Pour avoir une seconde portion d'eau avec une pareille pompe, il faudroit commencer par boucher le trou qu'on auroit fait en *b*; ensuite donner plusieurs coups de piston, pour élever l'eau jusqu'en *c*; & enfin venir rouvrir le trou en *b*. Regardera-t-on ce procédé bien simple? & pour avoir une si petite quantité d'eau. Encore faudroit-il que le tuyau d'aspiration fût d'un petit diametre; sans quoi la colonne d'eau se déchireroit, l'air passeroit au travers, & il ne monteroit pas une goutte d'eau au corps de pompe. Pour annoncer fausse une opinion universellement reçue, il faut, pour le moins, y penser à deux fois.

424. Fort peu de temps après, le S^r. *Bellangé*, Orfévre-Bijoutier, demeurant à la Place Dauphine, à Paris, imita la pompe de Séville, & lui donna de plus la propriété de fournir de l'eau à 55 pieds

de hauteur par un jet continu, quoiqu'elle ne fût que simplement aspirante. Voici comment il s'y prit. A un petit corps de pompe de 25 lignes de diametre intérieur, & dont le piston avoit 8 pouces de jeu, il adapta un tuyau d'aspiration de 10 lignes de diametre & de 56 pieds de longueur : ce tuyau étoit garni d'une soupape à sa jonction avec le corps de pompe, & d'une autre à son extrémité inférieure. Cette extrémité plongeoit dans un tonneau plein d'eau. Le S[r]. *Bellangé* avoit fait à ce tuyau un petit trou d'environ $\frac{1}{2}$ ligne de diametre, à 12 ou 15 pouces au dessus de la surface de l'eau du tonneau. Le tout ainsi disposé, s'il faisoit mouvoir le piston lentement, il ne montoit point d'eau : le petit trou fournissoit assez d'air pour remplir le tuyau d'aspiration. Mais s'il faisoit jouer le piston avec beaucoup de vîtesse, le petit trou ne pouvant pas, en si peu de temps, fournir assez d'air pour remplir le tuyau, il montoit un peu d'eau qui se mêloit à l'air : de sorte que la colonne se trouvoit composée de petits cylindres alternativement d'air & d'eau ; & quoiqu'elle eût 55 pieds de hauteur, il s'en falloit de beaucoup qu'elle pesât autant que peseroit une colonne d'eau continue de 32 pieds de haut. Aussi, ayant calculé, d'après le diametre du corps de pompe, & l'étendue du jeu du piston, la quantité d'eau que cette pompe auroit dû fournir, s'il


Y
X
Z
y
u
O
u
Y
Z
X
y
E
x
S
q
s
F
60
q
Fig. 53.
32
c
Fig. 49.
H
L
K
Fig. 52.
10
b
A
A
a
A
Fig. 50.
C
r
K
q
S
s
q
D
Benard Direxit.

n'étoit point passé d'air, & ayant comparé cette quantité à celle qu'elle nous fournit réellement, je trouvai cette derniere de beaucoup inférieure. Car, en 6 minutes de temps, on donna 530 coups de piston, qui ne fournirent que 36 pintes d'eau; ils en auroient dû fournir plus de 292 pintes. Cette pompe ne nous fournit donc pas la huitieme partie de l'eau qu'elle auroit dû nous fournir. Ainsi, quoiqu'elle paroisse mieux conçue, elle ne vaut pas mieux que celle de Séville.

425. La pompe aspirante & foulante est composée d'un corps de pompe GH (*fig.* 54.), ouvert *Fig.* 54. par le haut, & à la partie inférieure duquel est adapté le tuyau d'aspiration HV. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, est une soupape S, destinée au même usage que dans la pompe simplement aspirante (419). Dans le corps de pompe est un piston M, non pas percé comme les précédens, mais plein, & qui est mis en jeu à l'aide de la tige *x* X, & d'un levier YXZ du second genre (477), qui a son point d'appui en Z. A côté du corps de pompe, & vers le bas, est adapté un tuyau montant HR, garni d'une soupape *s* dans sa partie inférieure, & d'un tuyau de décharge R dans sa partie supérieure. Cette pompe doit être assujettie de façon qu'il n'y ait que l'extrémité inférieure du tuyau d'aspiration HV qui plonge dans l'eau.

426. Il est aisé de voir que la premiere action de cette pompe est d'être aspirante, comme celle dont nous avons parlé ci-dessus (419). Car si l'on souleve le piston M, en amenant le levier YXZ dans la situation yuZ, on souleve la colonne d'air qui repose dessus : l'air qui est dans le tuyau d'aspiration, devient par-là plus rare que l'air extérieur. Ce dernier presse donc avec avantage sur la surface de l'eau AA, & la porte, après quelques coups de piston, jusque dans le corps de pompe. Arrivée là, si l'on abaisse le piston M, la soupape S se ferme, & l'eau est contrainte d'enfiler le tuyau montant HR, en soulevant la soupape s; laquelle, si-tôt que la pression cesse, retombe par son poids & celui de l'eau qui est au dessus. On voit donc que le piston aspire en montant, & foule en descendant.

427. Cette pompe est très-commode, en ce que son corps de pompe étant placé hors de l'eau, on peut y faire aisément les réparations nécessaires; & en ce qu'on peut, par son moyen, porter l'eau à telle hauteur que l'on veut; il ne s'agit pour cela que de donner plus de longueur au tuyau montant, & augmenter la force qui doit mettre la pompe en jeu.

428. On peut mettre dans le genre de la précédente (425) la pompe d'incendie, qui non seulement est tout à la fois aspirante & foulante,

mais dont le jet eſt continu, quoiqu'elle n'ait qu'un corps. Cette pompe eſt, pour l'eſſentiel, compoſée comme la pompe aſpirante & foulante (*fig.* 54.), dont nous venons de parler (425); avec cette différence que ſon tuyau d'aſpiration eſt beaucoup plus court; & qu'au lieu de tuyau montant ſolide, elle porte un tuyau de cuir, auquel on donne une longueur convenable. Cette pompe (*fig.* 55.) eſt donc compoſée d'un corps de pompe GH, ouvert par le haut, & à la partie inférieure duquel eſt adapté le tuyau d'aſpiration HT. A la réunion de ce tuyau avec le corps de pompe, eſt une ſoupape S, deſtinée à empêcher que l'eau, une fois paſſée dans le corps de pompe, retourne dans le baſſin. Dans ce corps de pompe eſt un piſton M, non pas percé, mais plein, & qui eſt mis en jeu à l'aide de la tige de métal *x*X, & d'un levier du ſecond genre (477) YXZ, qui a ſon point d'appui en Z. Vers le bas du corps de pompe & ſur le côté, eſt un trou C que l'on recouvre d'un clapet *cl*, dont la queue *l* eſt à reſſort, & attachée avec une petite vis. Ce clapet eſt deſtiné à empêcher que l'eau, ſortie du corps de pompe, puiſſe y rentrer, lorſqu'on ſouleve le piſton M. Le corps de pompe GH eſt enveloppé de toutes parts d'un tuyau ABDE, d'un diametre de 2 ou 3 pouces plus grand que celui du corps de pompe; & l'intervalle qui

Fig. 54.

Fig. 55.

demeure entre l'un & l'autre, est rempli d'air. A la partie inférieure de ce tuyau & sur le côté, est adapté un autre petit tuyau coudé E R, garni à son bout R d'une soupape *s* & d'une virole à vis, destinée à recevoir un écrou, par le moyen duquel on joint, à ce bout de tuyau, le tuyau de cuir dont nous avons parlé ci-dessus, & qui tient lieu de tuyau montant. Tout cet assemblage est
Fig. 56. placé comme on le voit en P (*fig.* 56.), sur une caisse N O doublée de plomb, qui contient l'eau, & serré de haut en bas entre le couvercle L de la caisse & une traverse Q, au travers de laquelle
Fig. 55. passe le bout supérieur F (*fig.* 55.) du corps de pompe, qui pour cela est d'un plus petit diametre
Fig. 56. que le reste. Le couvercle L (*fig.* 56) de la caisse est aussi percé à son milieu, pour laisser passer le
Fig. 55. tuyau d'aspiration H T (*fig.* 55.)

429. On voit maintenant que, si l'on souleve le piston M, en amenant le levier Y X Z dans la situation yuZ, la soupape *s* & le clapet *c*, placé en C, se trouvent serrés contre leurs trous par la pression de l'air extérieur. Cette même pression, agissant sur la surface de l'eau V V, l'oblige de passer dans le corps de pompe, en soulevant la soupape S. La pompe est donc alors aspirante. Mais lorsqu'on abaisse le piston M, la pression que cela cause, ferme la soupape S, & ouvre le clapet qui est en C : l'eau passe donc alors, non seulement

dans le tuyau de cuir *a b d* (*fig.* 56.) en soulevant la soupape *s* (*fig.* 55.), mais encore dans l'intervalle qui se trouve entre le corps de pompe & le tuyau qui l'enveloppe, en montant vers IK, & y comprimant l'air qui y est renfermé. Si-tôt qu'on souleve de nouveau le piston M, cet air n'étant plus soumis à la pression qu'il éprouvoit, se développe par son ressort, agit sur l'eau qui est entre le corps de pompe & le tuyau qui l'enveloppe, & la pousse dans le tuyau de cuir : de sorte que, lorsqu'on abaisse le piston, l'eau est poussée par le piston lui-même ; & lorsqu'on le souleve, l'eau est poussée par le ressort de l'air (905) : ce qui rend le jet continu, quoiqu'il n'y ait qu'un corps de pompe. *Fig.* 56. *Fig.* 55.

430. La continuité du jet est nécessaire dans les incendies. On l'obtient avec cette pompe, en employant le ressort de l'air dans le moment où l'on souleve le piston. Il est vrai qu'il faut alors, pour faire jouer la pompe, une force double; savoir, une force capable de pousser la colonne d'eau, & une force pareille pour comprimer l'air. Mais ce n'est point un inconvénient; car, dans le cas d'incendie, on manque rarement de bras : il n'y en a souvent que trop.

431. On emploie, pour mouvoir les pompes, toutes sortes d'agens, comme des hommes, des chevaux, des courans d'eau, l'action du vent, &c.

Les petites machines de ce genre, telles que les pompes à puits ou à incendies, sont ordinairement mues à bras d'hommes. Lorsqu'on a à élever une quantité considérable d'eau, on augmente à proportion la force motrice : & pour qu'elle exerce continuellement le même effort, du moins à peu près, sans rester jamais oisive, on établit plusieurs équipages de pompes ; de maniere que lorsqu'une partie des pistons descend, l'autre monte. C'est ainsi qu'on l'a pratiqué à la Machine de Marli.

432. Tout le jeu de ces machines dépend de la régularité du mouvement alternatif des soupapes ou des clapets. Il faut donc que ces pieces soient tellement construites & disposées, qu'elles tiennent bien l'eau, quand elles sont fermées, & qu'elles s'ouvrent facilement quand elles doivent le faire.

433. On emploie aussi quelquefois, pour mettre des pompes en jeu, l'action de l'eau réduite en vapeur par l'action du feu ; & c'est ce qu'on appelle *pompes à feu*, qui sont des machines hydrauliques, propres à élever une grande quantité d'eau à une grande hauteur. Nous en parlerons ci-après (1067) en traitant de l'eau comme vapeur ; & en faisant connoître les efforts énormes dont est capable ce fluide élastique.

Mouvemens des Eaux dans les Tuyaux de conduite.

434. Lorſqu'on veut conduire de l'eau d'un endroit à un autre, il eſt clair qu'il faut des tuyaux de conduite d'autant plus longs, que l'endroit d'où l'eau part & celui où elle doit arriver ſont plus diſtans l'un de l'autre. Dans les tuyaux additionnels, dont nous avons parlé ci-deſſus (381 *& ſuivant.*), nous avons peu tenu compte de la réſiſtance des frottemens, parce qu'elle y eſt peu ſenſible. Il n'en eſt pas de même dans les longs tuyaux : le frottement de l'eau contre leurs parois, ralentit conſidérablement la vîteſſe, comme le prouve l'expérience. Suppoſons d'abord les tuyaux rectilignes.

435. Dans ces expériences, on s'eſt ſervi de deux tuyaux, dont l'un avoit 16 lignes de diametre intérieur, & l'autre 2 pouces. On a alongé ſucceſſivement les deux tuyaux, depuis 30 pieds juſqu'à 180. Et la hauteur conſtante de l'eau dans le réſervoir, au deſſus de l'axe de chaque tuyau, a été tantôt de 1 pied, tantôt de 2 pieds.

436. On voit dans la table ſuivante les réſultats de toutes ces expériences.

Hauteur constante de l'eau dans le réservoir au dessus de l'axe du tuyau, exprimée en pieds.	Distance des points où l'on a reçu l'eau au point où on l'a prise, exprimée en pieds.	Nombre de pouces cubes d'eau fournis en 1 minute par le tuyau de 16 lignes de diametre.	Nombre de pouces cubes d'eau fournis en 1 minute par le tuyau de 2 pouces de diametre.
1	30	2778	7680
1	60	1957	5564
1	90	1587	4534
1	120	1351	3944
1	150	1178	3486
1	180	1052	3119
2	30	4066	11219
2	60	2888	8190
2	90	2352	6812
2	120	2011	5885
2	150	1762	5232
2	180	1583	4710

437. Si, au moyen de la table ci-dessus (397), on cherche les dépenses de deux bouts de tuyaux additionnels, de 16 lignes & de 2 pouces de diametre, sous mêmes hauteurs de réservoir, & sans avoir égard aux frottemens, mais seulement aux aires des orifices des tuyaux, on trouve que, pendant 1 minute,

1°. La hauteur du réservoir étant de 1 pied, le tuyau de 16 lignes de diametre fourniroit 6292 pouces cubes d'eau.

2°. La hauteur du réservoir étant de 2 pieds, le même tuyau fourniroit 8893 pouces cubes d'eau.

3°. La hauteur du réservoir étant de 1 pied, le tuyau de 2 pouces de diametre fourniroit 14156 pouces cubes d'eau.

4°. La hauteur du réservoir étant de 2 pieds, le même tuyau fourniroit 20008 pouces cubes d'eau.

On voit que ces dépenses d'eau sont beaucoup plus grandes que leurs correspondantes dans la table précédente ; & que la dépense de chaque tuyau diminue d'autant plus que ce tuyau est plus long, parce qu'alors il y a plus de surfaces frottantes.

438. Mais on peut remarquer aussi que la diminution de la dépense n'est pas en proportion de l'alongement du tuyau : cette dépense diminue à mesure qu'on alonge le tuyau, mais par des quantités qui décroissent ; car les premiers 30 pieds diminuent beaucoup plus la dépense que ne le font les seconds 30 pieds ; & le troisieme alongement de 30 pieds diminue encore moins la dépense que ne le fait le second ; & ainsi de suite.

439. Il résulte de tout ceci, que, dans la pratique, où l'on n'a pas besoin d'une si grande précision, on peut prendre pour regle, que *les dépenses faites, en temps égaux, par un même tuyau horizontal, sous une même hauteur de réservoir, & pour différentes distances de l'orifice*

de sortie à l'origine du tuyau, sont entre elles, à peu près, en raison inverse des racines quarrées de ces distances.

440. On peut remarquer, par la table précédente, que le tuyau de 16 lignes de diametre dépense moins, à proportion, que celui de 2 pouces, sous une même hauteur de réservoir & une même longueur. Cela vient de ce qu'il y a, relativement aux quantités d'eau que ces tuyaux peuvent contenir, plus de surfaces frottantes dans le petit tuyau que dans le gros (416).

441. Si le même tuyau, au lieu d'être rectiligne, est curviligne, cela diminue encore la dépense, mais d'une petite quantité : & cette dépense est encore un peu plus diminuée, si le plan du tuyau curviligne est mis dans une position verticale, plutôt que dans une position horizontale. Cette petite diminution est produite par le choc de l'eau contre les angles du tuyau, qui fait perdre une partie de la vîtesse.

442. Mais si le tuyau, au lieu d'être curviligne, étoit composé de parties droites qui fissent des angles entre elles, la diminution seroit plus grande, & d'autant plus que ces angles seroient moins ouverts; parce qu'alors le choc de l'eau seroit moins oblique, & feroit par-là perdre plus de vîtesse.

443. Quand les tuyaux sont courbes, &

que le plan de leur courbure eſt vertical (*fig.* 57.), il y a alors des pentes & des contre-pentes, dans leſquelles l'air peut ſe cantonner, & ralentir, ou même arrêter le cours de l'eau. Soit, par exemple, le tuyau ABCDEFG, dont l'extrémité ſupérieure A répond à un réſervoir qui lui fournit l'eau, & l'extrémité G va fournir de l'eau à une fontaine. Le tuyau n'étant rempli que d'air, ſi l'on fournit de l'eau en A, cette eau, chaſſant l'air devant elle, remplira la portion AB plus la portion BC : l'eau arrivée à la courbure C, gliſſera par la partie inférieure de cette courbure, & ira (comme l'expérience le prouve) remplir le coude D, laiſſant derriere elle la colonne d'air CD, qui ne pourra plus ſortir. L'eau continuant de couler, montera de D en E, où étant arrivée, elle gliſſera encore par la partie inférieure de cette courbure, pour aller remplir le coude F, laiſſant derriere elle une ſeconde colonne d'air EF, qui y demeurera cantonnée, malgré la preſſion de la colonne AB. Car la colonne d'air CD ne peut pas contre-balancer la preſſion de la colonne d'eau DE; non plus que la colonne d'air EF ne contre-balancera la colonne d'eau FI. De ſorte que, quoique l'eau ſoit dans le tuyau AB bien au deſſus du niveau G, l'eau ne pourra s'élever que vers I, & ne coulera point. Le ſeul remede eſt de chaſſer les deux

Fig. 57.

colonnes d'air CD & EF, en mettant, au sommet des courbures, deux bouts de tuyau C & E, par lesquels on laissera échapper l'air, & que l'on fermera ensuite avec des tampons ou des robinets, lorsque le cours de l'eau sera bien établi.

Mouvement oscillatoire de l'Eau dans un Siphon.

444. Nous avons prouvé ci-dessus (262) que, *Fig.* 29. si un corps lourd ou pendule A (*fig.* 29.) suspendu par le moyen d'un fil CE, décrit des arcs de cercle BAD ou FAG, en oscillant autour du point fixe C, toutes ses oscillations sont isochrones ou de même durée, quoique les arcs parcourus BAD ou FAG soient inégaux. Nous avons prouvé aussi (263) que les durées des oscillations de deux pendules de longueurs inégales, sont entre elles comme les racines quarrées de ces longueurs. Le mouvement de l'eau, qui se balance ou oscille dans un siphon, est de même genre.

Fig. 58. 445. Supposons un siphon (*fig.* 58.) composé de trois branches, deux verticales *ln*, *mo*, & une horizontale *no*; que le diametre intérieur de ce siphon soit bien égal dans toute son étendue; que, dans ce siphon, le fluide, dans l'état de repos, occupe l'espace *anod* : alors les deux surfaces *ab*, *cd*, sont de niveau. Supposons ensuite que,

que, par une cause quelconque, la liqueur soit forcée de descendre en gh, dans la branche mo, & par conséquent de s'élever en ef, dans la branche ln : si-tôt que cette cause cessera d'agir, le fluide sera abandonné uniquement à l'action libre de sa pesanteur. L'excès de longueur de la colonne en sur celle de la colonne ho forcera la liqueur de descendre, & même au dessous du niveau de l'autre, à cause de l'accélération de sa chûte (216); ce qui fera monter la liqueur dans l'autre branche mo ; laquelle liqueur redescendra & remontra ensuite alternativement, formant des oscillations semblables à celles d'un pendule qui va & vient ; & la durée de chacune de ces oscillations sera précisément la même que celle des oscillations d'un pendule qui auroit pour longueur la moitié de la longueur pqr de la colonne fluide.

446. Puisque les oscillations de l'eau suivent les mêmes loix que celles des pendules (263), si l'on augmente ou diminue la longueur de la colonne d'eau, la durée de chacune de ses oscillations augmentera ou diminuera, & suivra la raison soudoublée de cette longueur.

Mouvement oscillatoire de l'Eau dans les Ondes.

447. *Newton*, dans ses *Principes mathématiques* (*Liv. II. Prop.* 46) compare au mouvement

oſcillatoire de l'eau dans un ſiphon, le mouvement d'ondulation d'une maſſe fluide indéfinie, qui a été dérangée de ſa ſituation d'équilibre par l'action du vent ou de toute autre maniere. Soit

Fig. 59. ABCDEF (*fig.* 59.) une eau ſtagnante dont la ſurface monte & deſcende par des ondes ſucceſſives, que A, C, E ſoient les éminences de ces ondes, & B, D, F les cavités intermédiaires qui les ſéparent. Comme le mouvement des ondes ſe fait par l'aſcenſion & la deſcenſion ſucceſſive de l'eau; en ſorte que ces parties qui ſont les plus hautes, deviennent enſuite les plus baſſes, & ainſi de ſuite alternativement & ſucceſſivement; & comme la force motrice qui fait monter les parties les plus baſſes & deſcendre les plus hautes, eſt le poids de l'eau élevée; cette aſcenſion & cette deſcenſion alternatives ſont analogues au mouvement d'oſcillation de l'eau dans un ſiphon, & elles obſervent les mêmes loix par rapport à leur durée.

448. Si donc l'on a un pendule dont la longueur ſoit égale à la moitié de la diſtance tranſverſale qu'il y a entre une éminence A, par exemple, & la cavité B, c'eſt-à-dire, égale à la moitié de A*b*, les parties les plus hautes deviendront les plus baſſes dans la durée d'une oſcillation de ce pendule; & dans la durée d'une autre oſcillation, elles redeviendront les plus hautes.

Chacune de ces ondes parcourra donc sa largeur dans le temps que le pendule emploiera à faire deux oscillations. Et comme un pendule dont la longueur seroit quadruple de celle du précédent, c'est-à-dire, dont la longueur égaleroit la largeur AC de l'onde, ne feroit qu'une oscillation pendant que le premier en feroit deux (263), on doit conclure que les ondes font leurs oscillations dans le même temps qu'un pendule qui auroit pour longueur la largeur des mêmes ondes, feroit les siennes. On appelle *largeur des ondes*, l'espace transversal AC qui est entre leurs plus grandes élévations, ou l'espace BD qui est entre leurs plus grands abaissemens.

449. Il suit de là que des ondes qui auroient 3 pieds $8\frac{17}{30}$ lignes de largeur, en avançant pendant une seconde, parcourroient leur largeur; par conséquent, dans une minute, elles parcourroient 183 pieds 6 pouces 10 lignes; & dans une heure 11014 pieds 2 pouces. Si ces ondes avoient une largeur quadruple, elles parcourroient cette largeur dans un temps qui ne seroit que double: donc plus elles ont de largeur, plus elles parcourent de chemin dans un temps donné.

450. Le tout arriveroit ainsi que nous venons de le dire, dans l'hypothese que toutes les parties de l'eau monteroient & descendroient en lignes droites; mais cette ascension & cette descension

ſe font plutôt par des lignes courbes : ainſi cette détermination de tel & tel eſpace parcouru, dans un temps donné, n'eſt qu'un à peu près.

Mouvement des Roues mues par le choc de l'Eau.

451. Parmi les roues des moulins, les unes ont leur circonférence garnie d'aubes ; les autres l'ont garnie d'augets. Dans le premier cas, l'eau agit ſur ces roues principalement par ſon choc : dans le ſecond, elle agit par ſon poids. Parlons d'abord des roues mues par le choc de l'eau.

452. L'expérience a prouvé que plus les roues ont d'aubes, plus elles tournent vîte. Aux roues de 20 peids de diametre on met ordinairement 40 aubes : un plus grand nombre, comme, par exemple, 48, ſeroit plus avantageux. Aux roues des moulins placés dans des bateaux ſur des rivieres, on ne met pour l'ordinaire que 8 à 10 ailes ou aubes ; ces roues produiroient plus d'effet, ſi elles en avoient 15 à 16.

453. Lorſqu'une roue à aubes tourne dans une courſiere, l'impulſion qu'elle reçoit de la part de l'eau, eſt environ $\frac{1}{7}$ de la vîteſſe du fluide, plus grande que l'impulſion qu'elle reçoit dans un fluide indéfini : parce que, dans ce dernier, l'eau, qui eſt abondante, tourne derriere l'aube, & lui réſiſte ; au lieu que, dans la courſiere, il

n'y a que peu d'eau, qui fuit aussi vîte ou même plus vîte que l'aube.

454. En effet, l'expérience prouve que, lorsque la coursiere n'a que la largeur & la profondeur simplement suffisantes pour le jeu de la roue, & que le fluide a la liberté de s'échapper après avoir donné son choc, l'impulsion directe & perpendiculaire contre l'aube de la roue est environ double de l'impulsion que l'aube recevroit, si elle étoit plongée à même profondeur dans un courant indéfini.

455. Lorsqu'une roue, garnie de 48 aubes, tourne dans une coursiere, & qu'elle n'est pas plongée bien profondément dans l'eau, sa circonférence doit prendre environ les $\frac{2}{5}$ de la vîtesse du courant, pour que la machine produise le plus grand effet.

456. Les aubes dirigées au centre de la roue, paroissent les plus avantageuses; parce qu'alors il s'en faudroit peu qu'elles fussent frappées perpendiculairement par le fluide : ce qui produiroit la percussion la plus grande. Lorsqu'elles sont inclinées, le choc est oblique; ce qui diminue l'effort. Cependant un certain degré d'inclinaison fait que l'eau monte le long de l'aube, & y demeure pendant un certain temps : elle y agit alors par son poids, après avoir agi par son choc; & il peut se faire que l'effort qui en résulte

faſſe plus que compenſer la diminution que le choc reçoit par l'obliquité ſous laquelle l'aube eſt frappée. En général, dans les roues poſées dans des courſieres qui ont une certaine pente, les aubes doivent être inclinées d'une certaine quantité au rayon, tant pour être frappées dans une direction plus approchante de la perpendiculaire, que pour recevoir une augmentation de force de la part du poids de l'eau. L'inclinaiſon des aubes au rayon la plus avantageuſe, paroît être, ſuivant l'expérience, entre 20 & 30 degrés.

457. Une roue placée tout près du réſervoir, tourne plus vîte que par tout ailleurs, parce qu'on profite alors de toute la chûte de l'eau. Mais ſi l'on eſt contraint de placer la machine au bout d'une courſiere, à une certaine diſtance du réſervoir, il faut incliner le canal de la courſiere d'environ la dixieme partie de ſa longueur, afin que la pente rende à l'eau la vîteſſe détruite par le frottement. Alors la roue reçoit la même impulſion que ſi elle étoit placée près du réſervoir.

Mouvement des Roues mues par le poids de l'Eau.

458. L'eau agiſſant par ſon poids, produit un effet beaucoup plus grand, que lorſqu'elle agit par ſon choc. Car M. *Parent* en 1704, & M.

Pitot en 1725, ont démontré qu'une roue (supposée sans frottement), mue par un courant d'eau, & destinée à faire remonter une portion de cette eau, à la hauteur de celle qui la fait mouvoir, n'en pourroit élever au plus que les $\frac{4}{27}$, ou un peu plus de $\frac{1}{7}$. Au lieu qu'en faisant agir l'eau sur la roue par son seul poids, elle peut faire remonter, à la même hauteur d'où elle descend, la moitié de l'eau qui descend, ou les $\frac{1}{3}$, ou les $\frac{1}{4}$, ou, &c.

459. Lors donc qu'on n'aura qu'une petite quantité d'eau, & qu'on sera contraint de la ménager (ce qui arrive le plus souvent, parce qu'il y a plus de petits ruisseaux que de grandes rivieres), il faudra faire agir cette eau par son poids plutôt que par son choc. Pour cela, au lieu de roues à aubes, on se servira de roues à augets, par-tout où l'on pourra avoir une chûte de plus de 4 pieds, & où l'on n'aura pas toute l'eau nécessaire pour faire tourner, par exemple, un moulin avec une roue à aubes.

460. M. *Deparcieux* (*Mém. de l'Acad. des Sc. Année* 1754, *pag.* 603 & 671.) a ensuite prouvé que, plus les roues à augets tournent lentement, plus elles produisent d'effet avec une dépense d'eau égale. Il a donc fait faire une petite roue de 20 pouces de diametre, dont la circonférence est garnie de 48 augets. Sur l'arbre ou

axe de cette roue, sont placés quatre cylindres de différentes grosseurs : le moindre a 1 pouce de diametre ; le suivant a 2 pouces ; le troisieme en a 3 ; & le quatrieme, 4. Ces cylindres sont les différens treuils autour desquels s'enveloppe le cordon qui monte un poids, par le moyen d'une poulie de renvoi, placée au dessus de la machine. L'arbre de cette roue est porté à chaque bout sur deux rouleaux très-mobiles ; & cela pour diminuer les frottemens. Sur le devant de la roue, & un peu plus haut que son axe, est une petite tablette, sur laquelle on place un vase percé sur le côté tourné vers la roue, & que l'on remplit d'eau. Au dessus de ce vase on place & l'on soutient une grande bouteille pleine d'eau, renversée, & dont le goulot plonge de quelques lignes dans l'eau du vase, afin que la bouteille ne puisse se vider qu'à mesure que l'eau du vase s'écoule par le trou dont nous venons de parler. Cette eau, en s'écoulant, tombe dans un canal qui la porte dans les augets de la roue. Par-là, on est sûr d'employer, à chaque expérience, toujours la même quantité d'eau.

461. Voici les résultats des expériences faites par M. *Deparcieux*. Il a enlevé des poids tantôt de 12 onces, tantôt de 24 onces : le plus fort résistant davantage, obligeoit la roue à tourner plus lentement. Il a fait envelopper les cordons

qui soutenoient les poids, successivement sur les différens cylindres : le même poids résistoit donc d'autant plus que son cordon enveloppoit un plus gros cylindre.

Diametres des cylindres.	*Elévations du poids de 12 onces.*		*Elévations du poids de 24 onces.*	
1 pouces.	69 pouces.	9 lignes.	40 pouces.	0 lignes.
2	80	6	43	6
3	85	6	44	6
4	87	9	45	3

462. Quand le cordon enveloppe un plus gros cylindre, ou que le poids enlevé est plus considérable, la roue tourne plus lentement. On voit, par ces résultats, que le même poids est porté d'autant plus haut que son cordon enveloppe un plus gros cylindre. On voit de même que le poids double, qui ralentit encore la rotation, est porté à plus de la moitié de la hauteur à laquelle est porté le poids simple. Donc, dans ces cas-là, l'effet est plus grand.

463. On peut donc établir comme un principe, que *l'eau d'une même chûte agit par son poids beaucoup plus avantageusement que par*

son choc; & que plus les roues à augets tournent lentement, plus, à dépenses d'eau égales, elles produisent d'effet. Ce plus d'effet résulte de ce que la même portion d'eau agit plus longtemps, quand la roue tourne plus lentement.



Fig. 59.

E C b F D B

d E G I F

u Z X Y b X F B

Fig. 56.

Fig. 55.

K Q l x

CHAPITRE IX.

De la Mécanique ſtatique.

464. APRÈS avoir parlé des propriétés & des loix du mouvement, ſoit des corps ſolides, ſoit des fluides, nous devons maintenant nous occuper des moyens d'employer ces mouvemens utilement pour nous. Ces moyens ſont les machines; c'eſt-à-dire, des aſſemblages d'une conſtruction plus ou moins ſimple, qui tranſmettent l'action d'une puiſſance ſur une réſiſtance, & qui la font croître ou diminuer, en variant les vîteſſes de l'une ou de l'autre. En un mot, ce ſont des inſtrumens, ſimples ou compoſés, deſtinés à produire du mouvement, de façon à épargner ou du temps dans l'exécution de l'effet, ou de la force dans la cauſe.

465. La Mécanique eſt la Science qui nous conduit à la connoiſſance de ces moyens. Dans ſa ſignification la plus étendue, elle a pour objet les loix du mouvement des corps & les loix de leur équilibre. Quand elle conſidere le mouvement, elle ſe nomme *Mécanique proprement dite*, ou *Dynamique*: c'eſt celle qui nous a occupés juſqu'à préſent. Quand elle traite des loix de l'équilibre,

elle s'appelle *Mécanique ſtatique* : c'eſt celle-ci dont nous allons nous occuper maintenant.

466. On diſtingue deux ſortes de machines : les machines ſimples, & les machines compoſées.

467. On compte ordinairement ſix machines ſimples, que l'on appelle *forces mouvantes*, & auxquelles toutes les autres machines peuvent ſe réduire ; ſavoir, le *levier*, la *poulie*, le *treuil*, le *plan incliné*, le *coin*, & la *vis*. On pourroit réduire ces ſix machines à deux, ſavoir, le levier & le plan incliné ; car on peut conſidérer la poulie & le treuil comme des aſſemblages de leviers : & le coin & la vis ne ſont autre choſe que des plans inclinés, comme nous le verrons ci-après (548 & 555).

468. Les machines compoſées ſont celles qui ſont en effet compoſées de pluſieurs machines ſimples, combinées enſemble. Ce ſont donc des aſſemblages d'une conſtruction plus ou moins compoſée, par le moyen deſquels on peut faire varier la valeur d'une puiſſance, en variant les vîteſſes.

469. Il y a, dans une machine, quatre choſes principales à conſiderer ; ſavoir, la puiſſance, la réſiſtance, le point d'appui ou le centre de mouvement, & la vîteſſe de la puiſſance & de la réſiſtance.

470. La puissance est une ou plusieurs forces qui concourent à vaincre un obstacle ou à soutenir son effort : tels sont les efforts des hommes, des chevaux, des poids, des ressorts, &c. Comme la puissance peut n'être pas toujours d'une valeur constante, il faut faire en sorte que, dans son moment le plus foible, elle soit toujours supérieure à la résistance, même dans son moment le plus fort ; sans quoi la machine s'arrêteroit.

471. La résistance est un ou plusieurs obstacles qui s'opposent au mouvement de la machine. Telle est, par exemple, un bloc de marbre qu'on enleve avec une grue. La résistance, de même que la puissance (470), peut n'être pas toujours d'une valeur constante ; comme lorsqu'il s'agit de soutenir des fluides, de tendre des ressorts, de diviser des corps, &c. Il faut donc faire en sorte que la résistance, dans son moment le plus fort, soit toujours inférieure à la puissance, même dans son moment le plus foible. Ainsi, dans une pompe, par exemple, il faut supposer le tuyau montant tout plein, pour avoir le moment le plus fort de la résistance ; il faut donc rendre la puissance supérieure au poids de cette colonne d'eau.

472. Le point d'appui ou centre de mouvement est cette partie d'une machine autour de laquelle les autres se meuvent. Dans une balance, par exem-

ple, le point de la chasse où repose l'axe du fléau, est le point d'appui. Il faut toujours que ce point d'appui soit assez fort pour soutenir la puissance & la résistance, ou pour, dans certains cas, concourir avec une de ces forces à soutenir l'effort de l'autre.

473. Les vîtesses se mesurent par les espaces que parcourent dans le même temps la puissance & la résistance (56), ou qu'elles parcourroient, si l'une des deux emportoit l'autre. Comme, dans une machine, les temps sont toujours égaux pour la puissance & la résistance, ces espaces parcourus ou à parcourir déterminent leurs vîtesses relatives (61).

474. Pour calculer l'effet d'une machine, on la considere ordinairement dans l'état d'équilibre, c'est-à-dire, dans l'état où la puissance, qui doit surmonter la résistance, est en équilibre avec cette résistance. Mais il faut remarquer qu'après le calcul du cas de l'équilibre, on n'a encore qu'une idée très-imparfaite de l'effet de la machine. Car, comme toute machine est destinée à mouvoir, on doit la considérer dans l'état de mouvement, & non pas dans celui d'équilibre. Pour cela il faut avoir égard, 1°. à la masse (52) de la machine ou des pieces de cette machine que la puissance est obligée de soulever; laquelle masse s'ajoute à la résistance à vaincre, & pour laquelle

on doit par conséquent augmenter la puissance : 2°. au frottement, qui augmente prodigieusement la résistance (96 & *suivant.*). C'est principalement ce frottement & les loix de la résistance des solides, si différens pour les grands & pour les petits corps, qui font souvent qu'on ne sçauroit conclure de l'effet d'une machine en petit à celui d'une autre machine semblable en grand, parce que les résistances n'y sont pas proportionnelles aux dimensions des machines.

Du Levier.

475. Le levier est, de toutes les machines, la plus simple : c'est une verge de fer, de bois, ou de toute autre matiere équivalente, au moyen de laquelle une puissance, aidée d'un point d'appui, peut vaincre ou soutenir une résistance. Tel est un Maçon B (*fig.* 60) qui, au moyen de la verge de fer BA & du point d'appui A, souleve la pierre C. *Fig.* 60.

476. On regarde ordinairement un levier comme une ligne droite, inflexible & sans poids, qui détermine les distances & les positions de la puissance (470), de la résistance (471), & du point d'appui (472). Si cette ligne est courbe, sa courbure se réduit toujours à la plus courte distance qu'elle met entre la puissance & la résistance, ou entre l'une & l'autre de ces forces & le point

d'appui. Si elle a de la pesanteur, comme cela ne peut pas manquer d'être, son poids fait, d'une part, partie de la puissance, &, d'autre part, partie de la résistance; & cela suivant le rapport de distance de ces forces au point d'appui.

477. On distingue trois sortes de leviers. On appelle *levier du premier genre*, celui dans lequel le point d'appui C (*fig.* 61) est placé entre la puissance A & la résistance B. On nomme *levier du second genre*, celui dans lequel la résistance B (*fig.* 62) est placée entre la puissance A & le point d'appui C. Enfin on appelle *levier du troisieme genre*, celui dans lequel la puissance A (*fig.* 63) est placée entre la résistance B & le point d'appui C. Et l'on distingue les différentes especes de chacun de ces genres par les différens rapports de distance de la puissance & de la résistance au point d'appui. Ainsi, dans le levier (*fig.* 64.), si le point d'appui est en *a*, la puissance en *p* & la résistance en *r*, on dit que c'est un levier du premier genre à bras égaux : si le point d'appui est en *b*, c'est un levier dont le bras de la puissance *p* est à celui de la résistance *r*, dans le rapport de 2 à 1 : & si le point d'appui est en C, le bras de la puissance est à celui de la résistance dans le rapport de 3 à 1; & ainsi des autres. De même, dans le levier du troisieme genre (*fig.* 65.), si la puissance *p* est appliquée en

Fig. 61. Fig. 62. Fig. 63. Fig. 64. Fig. 65.

en 1, c'eſt un levier dont le bras de la puiſſance *p* eſt à celui de la réſiſtance R, comme 1 eſt à 3; car la longueur du bras de levier eſt toujours déterminée par la diſtance au point d'appui C. Mais ſi la puiſſance P eſt appliquée en 2, c'eſt un levier dont le bras de la puiſſance P eſt à celui de la réſiſtance R, comme 2 eſt à 3.

478. C'eſt la diſtance de ces forces au point d'appui, qui détermine leurs vîteſſes, & ces vîteſſes ſont toujours dans le même rapport que ces diſtances; car, ſi le point d'appui étant en C (*fig.* 66.), l'une des puiſſances eſt en B, & l'autre en A à une diſtance double du point d'appui, cette derniere A aura une vîteſſe double de celle de la premiere B. Car, ſi le levier vient à ſe mouvoir, tandis que B parcourra l'arc B *b*, A parcourra l'arc A *a*. Or ce dernier arc eſt double de l'autre; car les arcs ſont toujours dans le même rapport que leurs rayons. *Fig.* 66.

479. Comme l'effort d'un corps réſulte de ſa maſſe multipliée par ſa vîteſſe (64), il ſuit de ce que nous venons de dire (478), 1°. qu'*un poids agiſſant par un levier, produit un effort d'autant plus grand, qu'il eſt plus éloigné du point d'appui*; car alors il a plus de vîteſſe.

480. 2°. Que *deux poids égaux, oppoſés ſur un levier, ne ſont en équilibre qu'à égales diſtances du point d'appui.*

481. 3°. Que *deux poids inégaux y produisent des efforts égaux, quand leurs distances au point d'appui sont en raison réciproque de leurs masses.* Le gain qu'on fait du côté de la force employée, est donc toujours accompagné d'une perte du côté du temps ; & réciproquement.

Dans tout ce que nous venons de dire du levier, nous avons toujours supposé que les puissances agissoient l'une & l'autre dans des directions perpendiculaires ou également obliques au bras de levier.

482. La position la plus avantageuse d'une puissance qui agit par le moyen d'un levier, est que sa direction soit perpendiculaire au bras du levier par lequel elle agit. Ainsi, dans le levier
Fig. 67. (*fig.* 67.), si la puissance B agit dans la direction *b*B, elle produit le plus grand effort qu'elle puisse produire ; elle produiroit donc un effort moindre, si elle agissoit suivant *b*D ou *b*E. Mais si, lorsqu'une des puissances devient oblique au bras du levier, l'autre puissance le devient également, de maniere que les directions de ces deux puissances demeurent paralleles, telles que
Fig. 68. sont les directions *a p* & *b r* (*fig.* 68.), alors elles gardent entre elles le même rapport. Mais si ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, celle des deux qui s'écarte davantage de l'angle droit, rend la puissance plus foible : par

exemple, si la puissance Q (*fig. 69.*) gardant sa direction perpendiculaire, l'autre puissance devenoit oblique, & agissoit suivant *pc*, ou *pd*, ou *pe*, ou *pf*, elle deviendroit plus foible, & d'autant plus qu'elle s'écarteroit davantage de la direction perpendiculaire *p*P. Fig. 69.

483. Si l'on veut juger de ce degré d'affoiblissement, on n'a qu'à prolonger ces directions obliques *ad* ou *af* (*fig.* 70.) par des lignes indéfinies *ai* ou *ak*, & supposer que le bras de levier *ca* tourne sur le point *c*, & décrit par son extrémité *a*, une portion de cercle *aghik*; il y aura un point *n* ou *m* dans sa longueur, sur lequel la direction prolongée *ai* ou *ak* tombera perpendiculairement : c'est sur ce point que la puissance exerce toute sa force, & non pas à l'extrémité *a* du bras de levier. Sa distance au point d'appui *nc* ou *mc*, égale à *bc* ou *ec*, est moindre : c'est donc comme si cette puissance, au lieu d'être appliquée perpendiculairement en *a*, l'étoit perpendiculairement en *b* ou en *e*. Mais comme les rayons *ce* & *cb* sont égaux aux rayons *cm* & *cn*, lesquels sont les sinus des angles que forment les directions *ad* & *af* avec le bras de levier, on peut comprendre d'une maniere plus générale tout ce que nous venons de dire, & l'énoncer par cette proposition : *Les différens efforts d'une puissance, appliquée à l'extrémité d'un bras de levier selon* Fig. 70.

différentes directions, sont entre eux comme les sinus des angles que font ces directions avec le bras de levier. Ce qui explique très-bien pourquoi l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, quand sa direction est perpendiculaire au levier (482); car alors elle fait avec ce bras de levier un angle droit, dont le sinus est le rayon entier, c'est-à-dire, le bras entier du levier.

484. Il est indifférent que la direction de la puissance s'écarte de l'angle droit, soit en dedans, soit en dehors du levier. Ainsi, qu'une puissance
Fig. 71. agisse suivant la direction *a* D (*fig.* 71.), faisant avec le levier *ba* un angle aigu, ou suivant la direction *a* P, faisant avec ce même levier un angle obtus, pourvu que, dans les deux cas, elle soit également éloignée de l'angle droit, sa force sera également affoiblie; puisque deux angles qui s'éloignent également tous deux de l'angle droit, l'un en défaut & l'autre en excès, ont le même sinus. Deux angles, l'un de 45 degrés & l'autre de 135 degrés, ont le même sinus.

485. En général, quand, dans une machine composée, plusieurs leviers agissent ensemble, & que les directions des puissances font avec leurs bras de levier des angles égaux ou également obliques, *la puissance est à la résistance, comme le produit des bras du levier de la résistance est*

au produit des bras de levier de la puissance, en raison inverse des vîtesses.

486. Puisque, dans le cas d'équilibre, la puissance est toujours à la résistance, comme la distance de la résistance au point d'appui est à la distance de la puissance au même point d'appui (481), il s'ensuit que la puissance est ou plus grande, ou plus petite, ou égale à la résistance, selon que la distance de la résistance au point d'appui est ou plus grande, ou plus petite, ou égale à celle de la puissance. De là on doit conclure, 1°. que, dans le levier du premier genre, la puissance peut être ou plus grande, ou plus petite, ou égale à la résistance; 2°. que, dans le levier du second genre, la puissance est toujours plus petite que la résistance; 3°. qu'elle est toujours plus grande dans le levier du troisieme genre; & qu'ainsi ce dernier genre de levier, bien loin d'aider la puissance, quant à sa force absolue, ne fait au contraire que lui nuire. Cependant ce troisieme genre de levier est celui que la Nature a employé le plus fréquemment dans le corps humain. (Voyez *Borelli*, *de Motu Animalium.*) Par exemple, quand nous soulevons un poids avec la main, ce poids doit être considéré comme fixé à un bras de levier, dont le point d'appui est dans le coude, & dont par conséquent la longueur est égale à l'avant-bras. Or ce

même poids est soutenu en cet état par l'action des muscles, dont la direction est fort oblique à ce bras de levier, & dont par conséquent la distance au point d'appui est beaucoup plus petite que celle du poids (483). Ainsi l'effort des muscles doit être beaucoup plus grand que le poids. Pour rendre raison de cette structure, on remarquera que plus la puissance, appliquée à un levier, est proche du point d'appui, moins elle a de chemin à faire pour en faire parcourir un grand au poids (478). Or l'espace à parcourir par la puissance, étoit ce que la Nature avoit le plus à ménager dans la structure de notre corps. C'est pour cette raison qu'elle a rendu la direction des muscles fort peu distante du point d'appui; mais elle a dû aussi les faire plus forts en même proportion.

487. Ce que nous avons dit ci-dessus (480), semble être contredit par une machine imaginée par M. *de Roberval*, & que, pour cela, on a appelée *Balance de Roberval.* Elle paroît présenter un paradoxe de mécanique, relativement à la propriété du levier. Voici en quoi consiste ce paradoxe. On attache à une regle fendue AB (*fig.* 72.) deux autres regles FC, ED, par le moyen de deux petits boulons, autour desquels ces regles sont mobiles: on attache de même aux extrémités de ces dernieres regles deux autres

Fig. 72.

regles FE, CD, aussi mobiles autour des points C, D, &c. par lesquels elles sont attachées ; en sorte que le rectangle FCDE puisse prendre telle figure ou telle situation qu'on voudra, comme *f c d e*. Au milieu de la regle FE, ainsi que de la regle CD, on place vis-à-vis l'une de l'autre, deux autres regles HGO, INP, perpendiculaires & fixement attachées chacune à leur regle. Cela posé, en quelque endroit de ces dernieres regles qu'on accroche les poids égaux H, I, ils sont toujours en équilibre, même dans le cas où l'un des poids I seroit placé en P, beaucoup plus près des points d'appui A & B que ne l'est le poids H. Que devient donc, dit-on, cette regle générale (480), que *deux poids égaux opposés sur un levier, ne sont en équilibre qu'à égales distances du point d'appui ?*

488. On rendra aisément raison de cette espece de paradoxe, si l'on fait attention à la maniere dont les poids H, I, agissent l'un sur l'autre. Pour le bien entendre, on décomposera les efforts des poids H, I, (*fig.* 73.) chacun en deux, dont l'un, pour le poids H, soit dans la direction H*f*, & l'autre dans la direction H*e* ; & dont l'un, pour le poids I, soit dans la direction IC, & l'autre dans la direction ID. Or l'effort IC se décompose encore en deux efforts C*n* & CQ ; & de même l'effort ID se décompose en deux Fig. 73.

efforts D *n* & DO. Donc la regle CD est tirée, dans la direction CD, par une force égale à C *n* plus *n* D, tandis que les efforts CQ & DO se détruisent mutuellement. On trouvera de même que la regle *fe* est tirée, dans la direction *fe*, par une force égale à *fg* plus *ge*. Donc, puisque BC est égale à B*f*; & que CD est égale & parallele à *fe*, les deux efforts, suivant CD & *fe*, doivent se faire équilibre.

489. C'est-là ce que l'on appelle la *décomposition des forces*, très en usage dans la Statique & dans la Mécanique. Dans cette décomposition, les directions & les valeurs des deux forces, par exemple, C*n* & CQ, dans lesquelles on décompose la force donnée CI, sont représentées par les deux côtés C*n*, CQ d'un parallélogramme C*n*IQ, dont la diagonale CI représente la direction & la valeur de la puissance donnée.

490. Le point d'appui, dans le levier, peut être regardé comme une troisieme puissance qui fait équilibre à la force motrice & à la résistance, ou qui concourt avec l'une des deux pour soutenir l'effort de l'autre.

491. Dans les leviers du premier genre (477),
Fig. 74. le point d'appui C (*fig.* 74.), qui se trouve alors placé entre la puissance D & la résistance E, porte l'effort absolu de ces deux forces, lorsque les directions DA & EB de ces forces sont paral-

leles entre elles; & l'effort qui ſe fait alors ſur le point d'appui C, ſe fait dans une direction C I parallele à celles de ces forces. Mais ſi les directions I Q (*fig.* 76.) de la puiſſance, & K N de Fig. 75.
la réſiſtance ſont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui L eſt chargé d'une quantité moindre que la ſomme totale des deux forces, & d'une quantité d'autant moindre, que cette inclinaiſon eſt plus grande; & l'effort qui ſe fait alors ſur le point d'appui L, ſe fait dans une direction L M qui tend au point de concours M des directions des puiſſances.

492. Il en ſeroit de même, ſi les puiſſances *f* & *g* (*fig.* 76.) étoient en équilibre entre elles Fig. 76.
par inégalité de diſtance au point d'appui H, c'eſt-à-dire, dans le cas où leurs maſſes ſeroient en raiſon inverſe de leurs diſtances *f* H & *g* H au point d'appui (481). La charge ſur ce point d'appui ne ſeroit jamais plus grande que la ſomme réelle des deux forces, ou la ſomme des maſſes oppoſées : elle ſeroit égale à cette ſomme, ſi les directions des puiſſances étoient paralleles entre elles; mais elle ſeroit moindre que cette ſomme, ſi ces directions *ec*, *ec* étoient inclinées l'une à l'autre; & alors l'effort ſur le point d'appui H ſe feroit dans une ligne H I qui tendroit au point de concours I de ces directions. Si, dans ce cas-là, le point d'appui n'eſt jamais plus chargé que de la

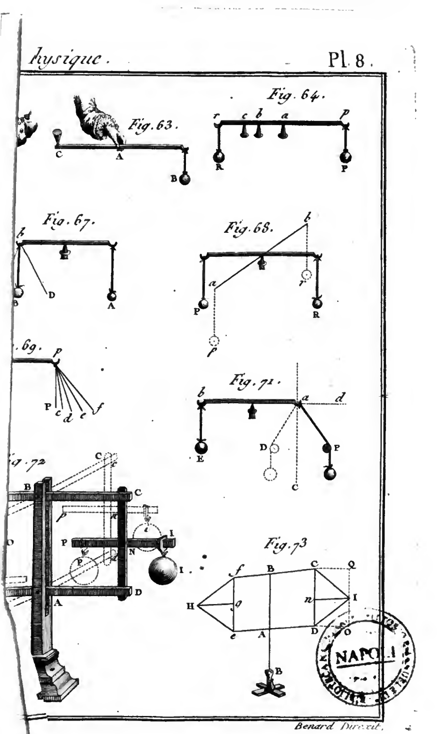


somme réelle des masses opposées, quoique la petite masse produise un aussi grand effort que la grande; cela vient de ce que cette petite masse ne produit un aussi grand effort que parce qu'elle a plus de vîtesse: or la vîtesse ne pese point.

493. Dans les leviers du second & du troisieme genre (477), le point d'appui ne porte qu'une partie de l'effort de l'une des deux forces; c'est-à-dire qu'il concourt avec la puissance dans les leviers du second genre, ou avec la résistance dans les leviers du troisieme genre, pour porter l'effort de l'autre: comme lorsque deux hommes portent un fardeau, au moyen d'un bâton appuyé sur leurs épaules. Ces deux hommes, dont l'un peut être regardé comme la puissance, & l'autre comme le point d'appui, ne portent chacun qu'une partie du fardeau. Et celui des deux qui est le plus près du fardeau, en porte une plus grande portion, & cela dans le rapport de cette proximité.

De la Poulie.

494. La poulie, l'une des six machines réputées
Fig. 77. simples (*fig.* 77), est un corps rond, plat, mobile sur son axe C, & dont la circonférence *cg*
Fig. 78. (*fig.* 78.) est creusée en gorge pour recevoir la corde FBAR, ou EOAR, ou GHOAR
Fig. 77. (*fig.* 77) à laquelle on applique d'une part la


Fig. 63.
C
A
B
Fig. 64.
r
c
b
a
p
R
P
Fig. 67.
b
D
A
Fig. 68.
b
a
r
P
R
f
.69.
p
P
c
d
e
f
Fig. 71.
b
a
d
D
P
E
C
g. 72
C
c
B
C
p
n
P
N
I
A
D
Fig. 73
f
B
C
Q
H
g
n
I
e
A
D
O
B
NAPOLI

puissance F ou E ou G, & de l'autre part la résistance R. On creuse la gorge *cg* (*fig.* 78.), non pas en rond, mais en angle, comme on le voit dans la figure, afin que la corde, étant en quelque façon pincée dans cet angle, ne glisse pas sur la gorge. *Fig.* 78.

495. On fait ordinairement les poulies de bois ou de métal, & on les fait tourner sur leur axe A *a* : il vaudroit mieux, sur-tout si elles sont de bois, fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout ensemble dans les trous de la chape AD*a* qui soutient la poulie. Le mouvement se faisant alors sur moins de surface, il y auroit moins de frottemens : & si les trous de la chape venoient à s'agrandir, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, le trou s'alongeroit; la poulie descendroit un peu, mais elle n'en tourneroit pas moins rondement; ce qui n'arrive pas, lorsque la poulie, tournant sur son axe, le trou, qui reçoit l'axe, s'agrandit, & souvent pas également dans tous les sens.

496. La poulie est une machine au moyen de laquelle on peut élever des fardeaux d'une maniere ou plus commode ou plus avantageuse : plus commode, en rendant le mouvement continu & en changeant la direction du mouvement, pour mettre dans toute sa force la puissance qui agit; de sorte que, par-là, un cheval, qui ne peut agir

qu'horizontalement, peut vaincre une résistance verticale : plus avantageuse, en faisant enlever un grand poids avec une force moindre. En effet, au moyen d'une poulie, 1°. la puissance peut tirer en toutes sortes de direction, sans rien perdre de son avantage; parce que la corde par laquelle elle agit, est toujours tangente à la circonférence de la poulie, & par conséquent toujours perpen-
Fig. 77. diculaire au rayon CH ou CB ou CO (*fig.* 77.); ce qui est la direction la plus avantageuse (482). 2°. Comme les puissances qu'on y applique, agissent d'autant plus fortement, que leur distance à l'axe est plus grande, en se servant d'une poulie
Fig. 79. qui ait plusieurs gorges (*fig.* 79.), ou en enfilant sur le même axe plusieurs poulies de différens diametres, celle des puissances qui agira à une plus grande distance de l'axe *c*, aura de l'avantage sur l'autre. Ainsi, si l'on suppose en I un poids de six livres, il faudra en H six livres pour le soutenir, parce que les rayons *cd* & *c* 1 sont égaux. Mais il ne faudroit que trois livres en K; car le rayon *c* 2 est double du rayon *cd* : & il ne faudroit que 2 livres en L, parce que le rayon *c* 3 est triple du rayon *cd*.

Dans tous ces cas, la poulie fait l'office de levier du premier genre (477); car on peut la considérer comme un assemblage de leviers fixes, dont le point d'appui commun est au centre. Tous

ces leviers ont des bras égaux dans les poulies à une seule gorge (*fig.* 77.) ; & ils ont des bras inégaux dans les poulies à plusieurs gorges (*fig.* 79.). Toutes ces poulies sont fixes. Fig. 77. Fig. 79.

497. Nous venons de dire (496) qu'au moyen d'une poulie à plusieurs gorges (*fig.* 79.), on peut rendre égales les actions de deux puissances inégales entre elles : on peut de même entretenir l'équilibre, ou un rapport constant, entre deux puissances dont les forces relatives changent continuellement. Pour cela on peut se servir d'une poulie, qui, au lieu de plusieurs gorges concentriques, n'en a qu'une, mais qui prend la forme d'une spirale, & conséquemment augmente peu à peu de diametre, selon la proportion suivant laquelle augmente l'intensité de l'une des deux forces. Qu'on prenne, par exemple, une poulie A (*fig.* 80.), dont la gorge soit creusée en spirale, & dont on voit la coupe en *gabc* & le plan en *de*4 : qu'on fixe au centre de cette poulie un barillet *e* ou E garni d'un ressort pareil à celui d'une montre. Si la force de ce ressort est telle qu'une puissance quelconque, un poids, par exemple, agissant par DE, le tienne en équilibre ; lorsqu'on aura roulé le ressort de trois ou quatre tours de plus, le même poids le tiendra encore en équilibre en agissant par *g* F, si le rayon EF est alongé dans la proportion de l'augmen- Fig. 79. Fig. 80.

tation d'intenſité de la force du reſſort. Ce que l'on dit de ce point F, on peut le dire de tous les autres. D'où il ſuit que ces deux puiſſances, le reſſort & le poids, garderoient toujours entre elles le même rapport, quoique l'intenſité de l'une des deux variât continuellement. C'eſt-là le moyen que l'on a pris, en horlogerie, pour rendre uniforme l'action des reſſorts des montres & des pendules, pendant tout le temps de leur développement.

Fig. 77. 498. L'axe C (*fig.* 77.) d'une poulie ſimple ne peut jamais être chargé par une plus grande force que celle qui eſt égale à la ſomme des deux puiſſances F & R : & il peut n'être chargé que d'une quantité moindre. Lorſque les directions BF & AR des deux puiſſances ſont paralleles, c'eſt-à-dire, lorſque la corde embraſſe la moitié de la circonférence de la poulie, l'axe eſt chargé d'une force égale à la ſomme de celles des deux puiſſances. Mais ſi les directions EO & RA de ces deux puiſſances ſont obliques entre elles, l'axe n'eſt chargé que d'une force moindre que la ſomme de celles des deux puiſſances; & dans ce cas-là, *la force dont l'axe eſt chargé, eſt à la ſomme des forces des deux puiſſances, comme la ſoutendante* AO *de l'arc embraſſé par la corde, eſt au diametre* AB. Et l'effort ſe fait alors ſur l'axe C, dans une direction qui, paſſant par C,

tend au point de concours des directions EO & RA des deux puissances.

499. Et dans tous ces cas la force F doit être égale à la résistance R pour avoir équilibre. D'où il suit que la poulie simple n'aide point la puissance, & ne lui nuit pas non plus. Elle est seulement propre, comme nous l'avons dit ci-dessus (496), à conserver la puissance dans sa direction la plus avantageuse, à changer la direction du mouvement, & à rendre ce mouvement continu.

500. On peut aussi considérer la poulie comme levier du second genre (477) : elle en a effectivement les propriétés, lorsque la résistance R (*fig.* 81.) est attachée à la chape *c i*, & qu'un des bouts de la corde, qu'on fait passer alors pardessous la poulie, est attaché au point fixe *a*, pendant que l'autre est tiré ou soutenu par la puissance *d*. Alors la poulie est mobile, & est elle-même enlevée avec le fardeau. Elle représente donc un levier du second genre *b e*, dont le point d'appui est en *b*, & qui est partagé en deux parties égales *b c*, *c e*, par la direction *c* I de la résistance R. C'est pourquoi, dans ce cas-là, la puissance *d* n'a besoin d'être que la moitié de la résistance R pour la tenir en équilibre. Et si le fardeau est enlevé, la puissance *d* fait un chemin double de celui de la résistance R, *Fig.* 81.

& a par conféquent une vîteffe double. Car fuppofons que le centre *c* de la poulie eft porté au point *h*, alors il ne refte au deffous de la ligne *da* que la portion de corde qui paffe fous la poulie : les deux portions *ba* & *ed*, ou leurs équivalentes, font donc paffées au deffus ; mais *ba* & *ed*, qui marquent l'efpace parcouru par la puiffance, font, prifes enfemble, doubles de *ch*, efpace parcouru par la poulie. Donc la puiffance a une vîteffe double de celle de la réfiftance. Dans le cas préfent, la corde embraffe la moitié de la circonférence de la poulie ; & les directions des deux puiffances font paralleles. Le bras de levier de la puiffance eft donc le diametre *eb* de la poulie ; & celui de la réfiftance n'en eft que le rayon *cb*. C'eft pourquoi, pour avoir équilibre, *il faut que la puiffance foit à la réfiftance, comme le rayon eft au diametre.*

501. Mais fi les directions des puiffances étoient obliques entre elles ; fi, par exemple, un des bouts de la corde étoit attaché au point fixe *g*, pendant que l'autre feroit tiré ou foutenu par la puiffance P, elle repréfenteroit encore un levier du fecond genre *ml*, dont le point d'appui feroit en *m*, & qui feroit partagé en deux parties égales *mi*, *il*, par la direction *c*I de la réfiftance. Alors *la puiffance* P *devroit être à la réfiftance* R,

comme

comme le rayon c b est à la soutendante l m de l'arc embrassé par la corde.

502. Si au lieu de tirer de bas en haut, on trouve plus commode de tirer de haut en bas, on ajoutera, au dessus de la poulie mobile *m* (*fig.* 82), une poulie fixe *n*, qui ne changera rien à la valeur de la puissance (499). Et si la puissance n'étoit pas assez forte pour enlever le fardeau, on ajouteroit encore une seconde poulie mobile, & une autre poulie fixe (*fig.* 83.), ou même un plus grand nombre. La puissance acquerroit par-là beaucoup de valeur. Ce sont ces assemblages de poulies, dont les unes sont fixes & les autres mobiles, & toutes embrassées par une même corde, que l'on appelle *Moufles*, & en terme de Marine, *Palans*, *Caliornes*. Les poulies fixes 2 & 4 sont toutes portées par une même chape, & les poulies mobiles 1 & 3 par une autre chape. La partie inférieure M de la chape qui porte les poulies fixes, sert de point fixe pour un des bouts de la corde; & c'est à la partie inférieure R de la chape qui porte les poulies mobiles, que l'on accroche le fardeau. Fig. 82. Fig. 83.

503. On peut, au moyen de ces assemblages, enlever de très-grands fardeaux avec une petite force; car il est démontré que la *force nécessaire pour soutenir un poids*, par le moyen d'une moufle, *est au poids lui-même, comme l'unité*

eſt au double du nombre des poulies mobiles, lorſque les directions des cordes ſont bien paralleles entre elles : les puiſſances ſont alors, comme nous l'avons dit ci-deſſus (500), en raiſon inverſe des vîteſſes.

504. D'où il ſuit que le nombre des poulies mobiles & la puiſſance étant donnés, on trouve aiſément le poids que la mouſle pourra ſoutenir, en multipliant la puiſſance par le double du nombre des poulies mobiles. Par exemple, ſuppoſons que la puiſſance égale 60 livres, & que le nombre des poulies mobiles ſoit trois : 60 multipliés par 6, double de 3, égale 360, qui eſt le poids que peut ſoutenir cette mouſle.

505. De même le nombre des poulies mobiles étant donné, ainſi que le poids que doit ſoutenir la mouſle, on trouvera la puiſſance néceſſaire, en diviſant le poids par le double du nombre des poulies mobiles. Suppoſons donc que le poids égale 800 livres, & que le nombre des poulies mobiles ſoit 4 : 800 diviſés par 8, double de 4, donnent au quotient 100 livres, qui eſt la force néceſſaire pour ſoutenir, avec une pareille mouſle, le poids de 800 livres.

506. Pour trouver le nombre des poulies mobiles que doit avoir une mouſle, afin de ſoutenir un poids donné avec une puiſſance donnée, il faut diviſer le poids par la puiſſance : la moitié

Fig. 77.

Fig. 76.

Fig. 81.

Fig. 78.

Fig. 79.

Benard Direxit.

du quotient est le nombre cherché. Supposons, par exemple, que le poids soit 500 livres, & la puissance 50 : il faut que la mousle ait 5 poulies mobiles; car 500 divisés par 50, donnent 10 au quotient, dont la moitié est 5.

507. Dans tous ces cas, nous avons supposé (503) que les directions des cordes sont paralleles entre elles. Si elles sont obliques, alors *la résistance ou le fardeau à soutenir est à la puissance, comme la somme des sinus des angles que les cordes tangentes aux poulies mobiles font avec l'horizon, est au sinus total.* Il faut donc, dans ce cas-là, que la puissance soit plus grande que nous ne l'avons dit. C'est pourquoi il faut faire en sorte que les directions des cordes soient bien paralleles entre elles.

508. Pour empêcher le frottement des cordons les uns contre les autres, ce qui occasionneroit une grande résistance & useroit la corde, on est contraint d'employer, dans la même mousle, des poulies de diametres de plus petits en plus petits; ce qui est un inconvénient, à cause de la roideur de la corde (576). Il vaut donc mieux placer les poulies de chaque mousle, la supérieure & l'inférieure, parallélement entre elles, en les plaçant dans une chape commune, & les faisant traverser par un boulon commun, comme on le voit *fig.* 84. Là, toutes les poulies sont de *Fig.* 84.

diametres égaux. Ces sortes de moufles sont fort en usage, sur-tout dans les vaisseaux. Les cordons n'y sont pas exactement paralleles; mais ce défaut est peu considérable.

509. Dans les calculs précédens (503 & *suiv.*) nous avons fait abstraction de la résistance des frottemens, & de celle qui naît de la roideur & du poids des cordes (571 & *suiv.*), pour lesquelles il faut augmenter la puissance, & la rendre plus grande que nous ne l'avons supposée. Il peut même arriver qu'en augmentant le nombre des poulies, on augmente tellement ces résistances, qu'elles fassent plus que compenser l'augmentation de force qui résulte de l'augmentation du nombre des poulies.

Des Roues.

510. Les roues, de même que les poulies, peuvent être considérées comme des assemblages de leviers. Il y en a de deux especes : les unes tournent toujours dans le même lieu sur un axe qui est fixé à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui servent d'appui : telles sont les roues des horloges, des moulins, des tournebroches, &c. Ces sortes de roues reçoivent le mouvement ou le transmettent par certaines parties saillantes qu'on réserve ou qu'on ajoute à leur circonférence, & que l'on nomme

dents, *chevilles*, *vannes*, &c. Les roues de l'autre espece, roulant sur leur circonférence, portent leur centre & l'axe ou l'essieu qui le traverse, dans une direction parallele au plan ou au terrein qu'elles parcourent : telles sont les roues des voitures, comme carrosses, charrettes, &c. Ces sortes de roues ont donc deux mouvemens; l'un, de leur centre qui s'avance en ligne droite, & l'autre, de toutes leurs parties qui circulent autour de ce centre.

511. Quand il s'agit des roues de la premiere espece, on place ordinairement sur un même arbre ou axe une grande roue & une petite roue, autrement nommée *pignon*, dont les dents ou les ailes engrenent avec les dents d'une autre grande roue. Dans les grandes machines on substitue souvent aux pignons, & pour en tenir lieu & en faire l'office, des *lanternes*, qui ne sont autre chose que des cylindres ou fuseaux paralleles entre eux & assemblés en rond entre deux plateaux. Alors les dents de la roue engrenent avec les fuseaux de la lanterne, comme elles feroient avec les ailes d'un pignon. Le mécanisme revient absolument au même dans les deux cas : ainsi il suffit d'examiner l'engrenage des roues & des pignons.

512. Les roues de la premiere espece (510), celles dont les axes ne font que tourner dans le

même lieu, doivent être considérées comme des leviers du premier genre (477.), dont les bras sont les rayons des roues & des pignons, & qui ont leur point d'appui à l'axe. Soient donc trois
Fig. 85. roues A, B, C (*fig.* 85.), & leurs pignons correspondans *a*, *b*, *c*. Le pignon, ou, ce qui est la même chose, le cylindre *a* soutient un poids P; la roue A, qui a le même arbre que le cylindre *a*, engrene avec le pignon *b*; la roue B, qui a le même arbre que le pignon *b*, engrene avec le pignon *c*; la roue C, qui a le même arbre que le pignon *c*, est tirée à sa circonférence par la puissance Q : & tout le systême est en équilibre. On voit qu'ici le poids P agit par les rayons des pignons ; & que la puissance Q agit par les rayons des roues. Supposons que les rayons des roues sont quadruples des rayons des pignons; que les premiers sont, par exemple, de 8 pouces, & les autres de 2 pouces. Comme il faut, pour avoir équilibre, que *la puissance soit à la résistance, comme le produit des bras de levier de la résistance, est au produit des bras de levier de la puissance* (485), c'est-à-dire, en raison inverse de la longueur des bras de levier; on cherchera ces produits, en multipliant les uns par les autres & les rayons des roues, & les rayons des pignons. Le premier produit sera 512; & le second 8; auquel cas la puissance Q doit

être au poids P, comme 8 est à 512, ou comme 1 est à 64.

513. D'où il suit qu'en cas d'équilibre, & quels que soient les diametres des roues & des pignons, *la puissance est à la résistance, comme le produit des rayons des pignons, est au produit des rayons des roues.* On voit par-là que ces sortes de machines peuvent donner un très-grand avantage à la puissance sur la résistance, relativement à la force. Mais cet avantage est acquis aux dépens de la vîtesse, lorsque la machine passe du repos au mouvement. Car on perd toujours en vîtesse ce que l'on gagne en force, & réciproquement.

514. On a souvent besoin, sur-tout dans l'horlogerie, que les nombres des révolutions des roues & des pignons aient entre eux un certain rapport. On l'obtiendra en donnant aux roues & aux pignons les nombres convenables de dents & d'ailes : par exemple, si l'on veut qu'une roue ne fasse qu'une révolution pendant qu'un pignon en fait quatre, il faudra donner à la roue quatre fois autant de dents que le pignon a d'ailes. Ainsi, si nous supposons quatre roues A, B, C, D (*fig.* 86.), dont la premiere A engrene avec le pignon *b* fixé à la seconde B; celle-ci engrene avec le pignon *c* fixé à la troisieme C; cette troisieme engrene avec le pignon *d* fixé à la qua- *Fig. 86.*

trieme D ; enfin cette quatrieme engrene avec le dernier pignon *e* : pour avoir le rapport du nombre des révolutions de la premiere roue A au nombre des révolutions du dernier pignon *e*, il faut multiplier le nombre des dents de la roue A, par le nombre des dents de la roue B ; ce premier produit par le nombre des dents de la roue C ; & le second produit, par le nombre des dents de la roue D : il faut ensuite multiplier le nombre des ailes du pignon *b* par le nombre des ailes du pignon *c* ; ce premier produit, par le nombre des ailes du pignon *d* ; & le second produit, par le nombre des ailes du dernier pignon *e* : les derniers produits des dents des roues & des ailes des pignons, donneront le rapport cherché.

515. On peut donc établir, pour regle générale, que *le nombre des révolutions de la premiere roue* A, *est au nombre des révolutions du dernier pignon, comme le produit des ailes des pignons, est au produit des dents des roues.* On voit par-là qu'il n'est point nécessaire de déterminer les nombres d'ailes & de dents que chaque pignon & chaque roue doit avoir en particulier : il suffit que le rapport du produit de toutes les ailes, au produit de toutes les dents, soit le même que celui que l'on désire.

516. Au moyen des roues de cette espece, on peut transmettre au loin l'action d'une puissance,

changer la direction du mouvement, & faire varier la vîtesse dans l'une ou l'autre des puissances.

1°. Si, au lieu d'appliquer le pignon D (*fig.* 87) *Fig.* 87.
immédiatement sur la roue H, on fixe ce pignon D à l'autre extrémité de l'axe prolongé, tant qu'il en sera besoin, de cette maniere l'action de la puissance qui agira par la manivelle G, se pourra transmettre à une certaine distance par le moyen du pignon D fixé à l'extrémité de l'axe.

2°. Si ce pignon D engrene avec une autre roue E, qui ait des dents paralleles à son axe, le mouvement qui lui sera transmis, changera de direction, & deviendra horizontal, de vertical qu'il étoit.

517. 3°. Enfin, si la roue E a quatre fois autant de dents que le pignon D a d'ailes; comme ce pignon ne peut se mouvoir sans la roue verticale H, il faut que l'un & l'autre fassent quatre tours pour en faire faire un à la roue horizontale E; & réciproquement, si l'on fait faire une révolution à celle-ci, on en fera faire quatre au pignon D & à la roue verticale H. Si l'on suppose donc à chacune des deux grandes roues H & E une manivelle G ou F menée par un homme qui lui fasse faire une révolution dans une seconde, la vîtesse sera quatre fois aussi grande, lorsqu'il agira par la manivelle F, que s'il agissoit par la manivelle G. Il est vrai qu'alors

il lui faudra employer quatre fois autant de force ; parce qu'on perd toujours en force ce qu'on gagne en vîteſſe ; & réciproquement, on perd toujours en vîteſſe ce qu'on gagne en force. La liberté de choiſir eſt une choſe avantageuſe.

518. Quant aux roues de la ſeconde eſpece (510), qui ont deux ſortes de mouvement, comme celles des voitures, dont le centre s'avance en ligne droite, pendant que les autres parties tournent autour de lui, on doit les regarder le plus ſouvent comme un levier du ſecond genre, qui ſe répete autant de fois qu'on peut imaginer de points à la circonférence. Car chacun de ces
Fig. 88. points eſt l'extrémité d'un rayon CM (*fig.* 88.) appuyé d'une part ſur le terrein M ; & l'autre bout C, chargé de l'eſſieu qui porte la voiture, eſt en même temps tiré par la puiſſance P qui la mene. De ſorte que ſi le plan étoit parfaitement uni & de niveau, ſi la circonférence des roues étoit bien ronde & ſans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe au moyeu, & ſi la direction de la puiſſance demeuroit toujours bien parallele au plan, une petite force meneroit une charrette très-peſante ; car la réſiſtance, qui vient de ſon poids, repoſe entiérement ſur le terrein par le rayon CM, ou par un ſemblable qui lui ſuccede l'inſtant d'après.

519. Mais de toutes les conditions que nous

venons de ſuppoſer, & dont le concours ſeroit néceſſaire pour produire cet effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'uſage ordinaire. Les roues des charrettes ſont groſſiérement arrondies, & garnies de gros clous : les chemins ſont naturellement inégaux, ou ils le deviennent par le poids de la voiture qui les enfonce : ces inégalités, ſoit des roues, ſoit du terrein, font que la roue s'appuie par un rayon CQ ou CN oblique à la direction CP de la puiſſance, ou à la direction CM de la réſiſtance. Le poids qui réſide en C, réſiſte donc à la puiſſance, qui ne peut le faire avancer qu'en le faiſant monter autant que le point Q ou N eſt au deſſus du point M. La puiſſance eſt donc alors obligée de ſoutenir une partie du poids de la voiture, comme ſi elle étoit placée ſur un plan incliné. D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient ſur des ſurfaces parfaitement unies, droites & dures, il ſe fait indiſpenſablement, de l'eſſieu aux moyeux, un frottement conſidérable.

520. Les creux & les hauteurs qui ſe rencontrent dans les chemins, changent auſſi la direction de la puiſſance. Un cheval placé plus bas ou plus haut, par la diſpoſition du terrein, au lieu de faire ſon effort par la ligne CP, parallele à la portion du plan qui porte naturellement les roues, le fait aſſez ſouvent par CS ou CR, c'eſt-à-

dire, obliquement à la direction CM de la résistance, & par conséquent avec désavantage; car une charrette qui se meut assez facilement par la force d'un seul cheval sur un terrein horizontal, a souvent besoin de plusieurs chevaux pour être tirée sur un plan qui va tant soit peu en montant.

521. En général, pour tirer un fardeau sur un terrein inégal & raboteux, comme ils le sont presque tous, il est plus avantageux, ainsi que l'ont prouvé MM. *Stevin*, *Wallis* & *Deparcieux*, de tirer un peu en en haut, comme par la ligne CR; il faut donc que l'axe des roues soit un peu plus bas que la poitrine des chevaux : cela fait que la direction de la puissance approche davantage du parallélisme à chacun des petits plans inclinés que forment les inégalités du terrein.

522. Mais, s'il n'est pas possible de se mettre absolument au dessus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues plutôt que des petites. Car il est certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes dans les creux du terrein,
Fig. 89. comme on le peut voir par la *fig.* 89, où le rayon *cq* de la petite roue, qui porte contre le terrein, lorsqu'il s'agit de sortir du trou, est beaucoup plus oblique à la direction *cp* de la puissance, que ne l'est le rayon C*q* de la grande

roue à la direction CP. De plus, comme la circonférence d'une grande roue mesure, en roulant, plus de chemin que celle d'une petite, elle tourne moins vîte, ou elle fait un moindre nombre de révolutions, pour parcourir un espace donné; ce qui épargne une partie des frottemens.

Du Treuil.

523. Le treuil ou tour, l'une des six machines réputées simples, est un arbre ou cylindre qui tourne sur son axe soutenu sur deux points fixes; au moyen duquel, avec une petite force, on enleve un grand fardeau attaché à une corde, qui s'enveloppe sur le cylindre; & cela par le moyen d'une espece de tambour fixé à une des extrémités du cylindre, & portant assez souvent à sa circonférence des especes de chevilles ou leviers.

524. Dans l'usage ordinaire, au lieu de tambour, on ne fait que fixer, à l'une des extrémités du cylindre AB (*fig.* 90.), des leviers croisés EF, GH, par le moyen desquels on fait tourner le cylindre sur son axe CD, tandis que la corde, qui soutient le poids *a*, s'enveloppe sur le cylindre AB. Il est aisé de voir que l'effet du treuil revient à celui d'un levier du premier genre. Car supposons que *hg* (*fig.* 91) représente le rayon du cylindre; & que *h* P représente le bras de levier par lequel agit la puissance P; *Fig.* 90. *Fig.* 91.

si la longueur de hP, est à celle de hg, comme 3 est à 1, une puissance de 100 livres en P, agissant dans une direction perpendiculaire à Ph, tiendra en équilibre un poids G de 300 livres (481).

525. Il suit de là que, pour avoir équilibre par le moyen du treuil, il faut que *la puissance* P *soit au poids* G, *comme le rayon* hg *du cylindre, est au levier* hP; ou, ce qui revient au même, *comme le rayon du cylindre est au rayon du tambour*. Ainsi, si, dans l'état d'équilibre, la puissance est moindre que le poids, & cela, dans le rapport du rayon du cylindre à celui du tambour; aussi, dans l'état de mouvement, la puissance va plus vîte que le poids, & cela, dans le rapport du rayon du tambour à celui du cylindre. Cette regle suppose que la puissance est toujours perpendiculaire au rayon par lequel elle agit; car la direction du poids est toujours perpendiculaire au rayon du cylindre, puisque la corde qui le soutient, est toujours tangente à sa circonférence.

526. Dans les grands efforts, comme il faut que les bras de levier de la puissance soient très-longs, & qu'on ne pourroit pas, vu leur longueur, atteindre l'extrémité de l'un pendant qu'on tiendroit l'extrémité de l'autre; que d'ailleurs on ne pourroit pas les multiplier assez, sans affoiblir considérablement la tête du cylindre; on a pris

Fig. 84.

Fig. 85.

A B C a b c P Q

Fig. 86.

A B b c d

Fig. 87.

F D E H G

Fig. 89.

C P c p q

Fig. 90.

E G C D B A F a

Benard Direxit.

le parti de réunir les extrémités de ces rayons par une circonférence à laquelle on adapte des chevilles, par lesquelles les hommes agissent; comme on le voit dans la roue des carrieres (*fig.* 92.) & dans la grue (*fig.* 93). Fig. 92. Fig. 93.

527. D'après ce que nous venons de dire, il est aisé de voir que la principale partie, dans la roue des carrieres & dans la grue, n'est autre chose qu'un treuil à tambour. On voit aussi que dans la chevre (*fig.* 94.) le cylindre ED est un treuil à leviers G & F. Fig. 94.

528. Dans la roue des carrieres & dans la grue, les hommes agissent communément par leur poids. Mais comme ils ne peuvent pas se tenir à l'extrémité du rayon horizontal, ce qui seroit le plus avantageux, puisque la direction de leur poids, qui est verticale, y seroit perpendiculaire, & que le poids de leur corps les retient plus bas; alors, pour avoir équilibre, il faut que *leur poids soit au fardeau qu'ils soutiennent, comme le rayon du cylindre est au sinus de l'angle que fait la direction verticale avec le rayon de la roue à l'extrémité duquel ils agissent* : dans la même raison que l'effort d'une puissance agissant obliquement à l'extrémité d'un bras de levier (483).

Du Cabestan.

529. Le cabestan est un véritable treuil : il n'en differe que par la position de son cylindre, qui est vertical, tandis que dans le treuil il est horizontal. La maniere dont une puissance agit sur une résistance, par le moyen du treuil (525), est entiérement applicable au cabestan. Mais le cabestan est beaucoup plus avantageux que le treuil ; 1°. parce que la puissance peut toujours agir perpendiculairement à son bras de levier : 2°. parce qu'on peut y appliquer un grand nombre d'hommes à la fois.

530. Le cabestan est donc une machine au moyen de laquelle on peut vaincre de très-grandes résistances avec des puissances beaucoup moindres. Aussi s'en sert-on sur les vaisseaux, pour lever les ancres ou autres fardeaux, auxquels sont amarrés les cables que l'on roule sur le cylindre. On s'en sert encore dans les ports pour amener les vaisseaux à terre, quand il en est besoin ; & pour faire passer d'un bateau sur le port, des masses extrêmement lourdes, comme des blocs de marbre ou de pierre.

531. La maniere ordinaire de se servir du cabestan, est de faire faire sur le cylindre AB (*fig.* 95) deux ou trois tours à la corde CD, qui tient

Fig. 95.

la

la résistance vers D, tandis que des hommes tirent, de toutes leurs forces, la partie C de la corde, pour empêcher qu'elle ne glisse : car alors le frottement de la partie de la corde qui est roulée autour du cylindre, est si considérable, que, quoique le poids de la résistance surpasse de beaucoup la force des hommes qui tiennent la corde, il ne peut cependant la surmonter, ni faire glisser la partie de la corde roulée autour du cylindre. Si l'on applique ensuite des hommes aux leviers E, F, G, H; & que ces hommes fassent tourner le cylindre, ils amenent la résistance : & pendant ce temps-là, ceux qui tirent la partie C de la corde, la devident; de sorte qu'il n'en reste jamais sur le cylindre plus de tours qu'on ne lui en avoit d'abord fait faire; car un côté ne peut pas se rouler, que l'autre ne se déroule.

532. Il est aisé de voir que le cabestan agit comme un levier sans fin du premier ou du second genre à bras inégaux (477); & que le bras de la résistance est beaucoup plus court que celui de la puissance. Car le bras de levier par lequel agit la résistance, est le rayon du cylindre : & le bras de levier par lequel agit la puissance, est ce même rayon prolongé par un des leviers en croix E, F, G, H. Plus ces leviers seront longs, plus la puissance deviendra capable de vaincre une grande

résistance ; mais il lui faudra plus de temps ; parce qu'elle aura un plus long chemin à parcourir. Supposons gk (*fig.* 91) le diametre du cylindre, dont le centre est en h : hg, rayon de ce cylindre, est le bras de levier par lequel agit la résistance G : hP ou hp, rayon prolongé, est le bras de levier par lequel agit la puissance P ou p. Si donc kg est à hP, comme 1 est à 10, un effort de 100 livres en P pourra tenir en équilibre une résistance de 1000 livres en G.

Fig. 91.

533. Il y a ordinairement sur les vaisseaux deux sortes de cabestans ; savoir, un grand, qu'on nomme *cabestan double*, & un petit, qui est le cabestan ordinaire. Le cabestan double est placé sur le premier pont, & s'éleve jusqu'à quatre ou cinq pieds au dessus du second pont. Il est destiné à produire les plus grands efforts, comme à lever l'ancre, &c. Le petit cabestan est posé sur le second ou le troisieme pont, entre le grand mât & le mât de misaine ; & il sert à hisser les mâts de hune & les grandes voiles.

534. Lorsque le cable auquel est attachée la résistance, est trop gros pour pouvoir être roulé sur l'arbre ou cylindre du cabestan, tel que celui qui sert à lever les ancres des gros vaisseaux, on se sert d'un cordage médiocrement gros, nommé *tournevire*, auquel on fait faire deux ou

trois tours sur l'arbre du cabestan, & dont on joint ensuite les deux bouts ensemble, de façon qu'un côté ne puisse se rouler sans que l'autre se déroule. A ce tournevire on attache, par le moyen de petites cordes, qu'on appelle *garcettes*, le gros cable qui tire l'ancre.

535. Il y a, dans l'usage du cabestan, plusieurs inconvéniens qu'on n'a encore pû corriger, malgré toutes les peines qu'on a prises, & tous les Savans qui s'en sont occupés. Si l'on se sert du tournevire, les garcettes, qui y tiennent le cable attaché, sont bientôt hors d'usage : il faut les défaire, pour les remettre plus loin, ce qui fait perdre un temps souvent précieux. Mais le plus grand inconvénient est que le cordage qui enveloppe & se dévide sur le cylindre, descend à chaque tour de tout son diametre, &, par-là, arrive jusqu'au bout du cylindre. Pour éviter qu'il ne se croise & qu'il ne s'embarrasse, il faut le rehausser; c'est ce qu'on appelle *choquer* : opération qui est d'autant plus fréquente, que le cordage est plus gros & le cylindre plus court. Mais, à chaque fois qu'on choque, il faut arrêter le mouvement de la machine; prendre des bosses sur le cordage, pour empêcher que la résistance ne l'emporte; dériver le cabestan pour mollir la partie du cordage qui est sur le cylindre; relever

le cordage ; le roidir de nouveau ; & enfin ôter les bosses, pour remettre le cabestan en jeu. Tout cela demande beaucoup de temps & de travail.

J'ai cependant appris qu'on a, depuis quelque temps, construit à Cherbourg un cabestan qui n'a pas besoin de choquer : mais j'ignore quel est le mécanisme qui l'en dispense. J'avois prié un de mes confreres, qui y réside, de me le faire connoître : je viens encore de lui écrire, pour lui rappeler sa promesse ; si je reçois sa réponse avant qu'on imprime cet article, c'est ici que je ferai connoître ce mécanisme ; si je la reçois plus tard, je le placerai en quelque autre endroit, qui sera indiqué par la *Table des matieres* au mot *Cabestan*.

Du Cric.

536. Le cric est encore une machine, moyennant laquelle on peut, avec une petite force, vaincre une grande résistance. Le cric simple est
Fig. 96. composé d'une barre de fer AB (*fig. 96*) garnie de dents à l'une de ses faces, & mobile dans une chasse CE. Les dents de la barre AB engrenent avec celles d'un pignon DD, qu'on fait tourner sur son axe, au moyen de la manivelle MN. Les dents du pignon soulevent la

barre, & font par conséquent monter le poids placé sur sa tête A.

537. En considérant l'effort que chaque dent du pignon fait en D pour soulever la barre, comme un poids à élever, il est clair (512) que *la puissance*, appliquée à la manivelle, *est à ce poids, comme le rayon du pignon est au bras* NM *de la manivelle.* D'où l'on voit qu'en faisant le rayon du pignon très-petit, par rapport à celui de la manivelle, on peut, avec une force médiocre, élever un poids très-considérable.

538. Quelquefois, pour soulever un plus grand poids, avec la même force appliquée à la manivelle, on ajoute au cric une vis sans fin (559) qu'on fait tourner avec la manivelle fixée à son axe, & dont les filets engrenent avec les dents du pignon. Supposons que, dans le cric simple, le pignon ait 8 dents : à chaque tour de manivelle la barre sera élevée de 8 dents. Mais si l'on ajoute une vis sans fin qui ait deux filets, il faudra, pour faire faire une révolution au pignon, & pour élever la barre de 8 dents, faire faire quatre tours à la manivelle. Par-là on rendra donc quadruple le chemin parcouru par la puissance; & par conséquent on quadruplera sa force. Mais on voit que, pour le même degré d'élévation de la résistance, il faudra, dans le second cas,

quatre fois autant de temps que dans le premier. Cette vis sans fin produit un autre avantage, qui est de pouvoir arrêter où l'on veut, sans craindre que le poids redescende.

Du Plan incliné.

539. Le plan incliné, l'une des six machines réputées simples, est celui qui fait un angle avec un plan horizontal. Cet angle peut être infiniment petit; & alors le plan se confond avec la ligne horizontale : ou bien cet angle peut être droit; & alors le plan devient vertical. Entre ces deux extrêmes sont comprises toutes les autres especes d'inclinaison.

540. Nous avons prouvé ci-dessus (234) que la durée de la chûte d'un corps par un plan incliné, est à la durée de la chûte de ce même corps par la verticale de ce plan, comme la longueur du plan est à sa hauteur. Donc un corps placé sur un plan incliné, est en partie soutenu par ce plan : donc une puissance qui agit par le moyen d'un plan incliné, peut soutenir, ou même vaincre, une résistance plus grande qu'elle. Et cette puissance n'agit jamais avec tant d'avantage que lorsque sa direction est parallele au plan.

Fig. 97. 541. Soit A C (*fig. 97.*) un plan incliné : pour soutenir le corps D sur ce plan, & l'empêcher de tomber; il n'est pas nécessaire que les poids

d, *d*, qui le retiennent par le moyen des cordes D*ed*, soient, pris ensemble, égaux au poids du corps D, si ces poids *d*, *d*, tirent dans la direction D*e* parallele au plan incliné. Mais si ces poids tiroient dans les directions DF ou DE, ils perdroient de leur avantage : on en verra la raison ci-après.

542. Il est évident que le plan incliné porte une partie du poids D, puisque des poids moindres que le sien l'empêchent de tomber. En effet, le corps *k* (*fig.* 98.) tend à tomber par la direction verticale *kh* (202); il en est empêché par le plan incliné *ac* qu'il est contraint de suivre. Son point d'appui est en *d* : on peut donc regarder le rayon *dk* comme un levier, à l'extrémité *k* duquel agissent deux puissances; l'une, le poids du corps *k*, dans la direction *kh*, oblique au rayon *dk*; & l'autre, *kp*, perpendiculaire à ce rayon. La longueur du bras de levier de cette derniere puissance est donc le rayon entier *dk* : & la longueur du bras de levier par lequel agit le poids du corps *k*, se réduit à *de*, sinus de l'angle que fait la direction *kh* avec le rayon *kd* (483). *Fig.* 98.

543. Mais, comme les puissances doivent être en raison inverse des longueurs des bras de levier (481), la puissance *kp* doit être au poids du corps *k*, comme *de* est à *dk*. Mais *de* est à *dk*,

comme *a b*, hauteur du plan, eſt à *a c*, ſa longueur. Car le triangle *dek* eſt ſemblable au triangle *abc*, comme cela eſt aiſé à voir : il y a donc le même rapport entre *de*, & *dk*, & *ek*, qu'entre *ab* hauteur du plan incliné, & *ac* ſa longueur, & *bc* ſa baſe : *de* repréſente donc *ab* la hauteur du plan ; & *dk* repréſente *ac* ſa longueur. D'où il ſuit que, *dans le cas où la direction de la puiſſance eſt parallele à la longueur du plan incliné, la puiſſance doit être au poids, comme la hauteur du plan eſt à ſa longueur.*

544. Mais ſi la direction de la puiſſance eſt oblique à la longueur du plan, elle ſera dans un autre rapport. Par exemple, *ſi cette direction eſt km, parallele à la baſe du plan, la puiſſance doit être alors au poids, comme la hauteur du plan eſt à ſa baſe :* comme *de* eſt à *ek*, ou à *do*, parallele & égale à *ek* : laquelle ligne *do* eſt le ſinus de l'angle que fait la direction *km* de la puiſſance avec le rayon *dk*. Pour tous les autres degrés d'obliquité, ce ſera toujours le ſinus de l'angle que fera la direction de la puiſſance avec le rayon *dk*, qui déterminera le rapport.

545. Enfin, pour déterminer ce rapport d'une maniere plus générale, on peut dire que, dans tous les cas, *le poids & la puiſſance doivent être*

entre eux, comme les sinus des angles que font avec le rayon d k, la direction de la puissance & la ligne verticale (483) ; laquelle ligne est la direction du poids.

546. Puisque le plan incliné porte une partie du poids (542), ce n'est pas la pesanteur absolue de ce poids que doit soutenir la puissance, mais seulement sa pesanteur respective ; c'est-à-dire, la portion de son poids qui n'est pas soutenue par le plan incliné. Voyez ci-dessus (236 & *suivant.*) quel rapport il y a entre cette pesanteur respective & l'inclinaison du plan.

Du Coin.

547. Le coin, l'une des six machines réputées simples, est un prisme triangulaire DAC (*fig.* 99), ou, ce qui est la même chose, un corps composé de trois plans DC*cd*, D*da*A, C*ca*A, qui terminent deux triangles DAC, *dac*. Les deux plans D*da*A, & C*ca*A, qui sont les plus longs, & que l'on nomme ses *côtés*, forment un angle à la ligne A*g*, qu'on appelle la *pointe* ou le *tranchant du coin* : & le plan DC*cd*, qui est le plus petit des trois, & qui détermine l'écartement des deux autres vers le haut, s'appelle la *base* ou la *tête du coin*. La ligne BA est ce qu'on appelle la *hauteur* ou l'*axe du coin*. Fig. 99.

548. L'action du coin peut se rapporter à celle du plan incliné (539). En effet, il est évident que le plan A C *c a* est incliné au plan A D *d a*.

549. On se sert du coin pour fendre, soulever, ou comprimer des corps ; & pour le faire agir, on emploie communément le choc d'un corps dur, & quelquefois la pression d'un poids. La résistance, qu'on veut vaincre par le moyen du coin, vient souvent de la tenacité des parties ; adhérence difficile à estimer. La percussion qui fait agir le coin, est encore une force difficile à comparer à celle d'une pression : c'est pourquoi l'application de la théorie du coin à la pratique n'est pas susceptible d'une grande précision. Pour approcher davantage de cette précision, supposons des puissances dont on connoisse la force absolue, comme des poids ; & voyons quels sont les rapports que prennent entre elles la puissance & la résistance, par l'interposition du coin.

Fig. 100. 550. Supposons donc les deux rouleaux *m*, *n*, (*fig.* 100.) attachés, l'un *m* à la corde *m l e*, & l'autre *n* à la corde *n i d*, portant chacune un poids de 10 livres *p* & *r*, & passant par-dessus les poulies *f* & *h* : supposons aussi que la base *a b* du coin soit égale à la moitié de sa hauteur *c h*. Il faudra une pression de 5 livres pour tenir ce coin en équilibre avec la somme des deux poids,

qui est égale à 20 livres ; & un peu plus de 5 livres pour faire enfoncer le coin de toute sa hauteur *c h*, abstraction faite des frottemens. Il est évident, par la construction, que, pendant que le coin s'enfoncera de toute sa hauteur *c h*, les deux poids *p* & *r* monteront chacun d'une quantité égale à la moitié de *i l*, laquelle est égale à *a b*, base du coin. Et comme il faut, pour qu'il y ait équilibre, que la puissance soit à la résistance en raison inverse des vîtesses (481), ou des espaces parcourus dans le même temps, il est clair que, *dans le cas d'équilibre, la puissance doit être à la résistance, comme la moitié de la base du coin est à sa hauteur*. Donc plus le coin est aigu, plus son action devient puissante, & plus la même force produit d'effet par son moyen.

551. Si le coin tend à écarter les parties d'un corps dur, & qui ont beaucoup d'adhérence entre elles, comme cela arrive le plus souvent, son avantage va toujours en augmentant à mesure qu'il s'enfonce entre ces parties. Car supposons qu'on ait fortement attaché ensemble deux tringles de bois *s q* & *t r* (*fig.* 101.) par de forts liens *Fig.* 101. *p*, *u*, *x*, &c. tous égaux en force, & qui représentent l'adhérence des parties d'une bûche, par exemple ; le coin étant placé entre les deux tringles, agit en quelque façon par les bras *s p*,

t p, de deux leviers angulaires *s p q*, *t p r*, tandis que les deux autres bras *p q*, *p r*, retenus par les liens, s'appuient mutuellement l'un contre l'autre. Si la force du coin excede un peu celle du premier lien *p*, ce lien sera rompu. Le second lien *u*, quoiqu'aussi fort que le premier, sera rompu plus aisément par l'action du même coin, parce qu'alors les bras des leviers par lesquels il agit, sont alongés de la quantité *p u*; & ainsi des autres. C'est sans doute pour cela que les bois durs & secs, les pierres, le verre, & en général toutes les matieres dont les parties sont fort roides, se cassent par éclats, & se fendent fort aisément dès qu'on a commencé à les entamer.

552. On a rapporté au coin tous les instrumens à tranchans & à pointes, comme couteaux, haches, épées, poinçons, &c. En effet, tous ces instrumens ont au moins deux plans inclinés l'un à l'autre, quelquefois quatre ou même plus, qui forment entre eux un angle plus ou moins aigu. Ainsi les clous, les aiguilles, les épingles, &c. font l'office de coin, & doivent être considérés comme tels.

De la Vis.

553. La vis, l'une des six machines réputées simples, est un cône fort alongé ou un cylindre

Benard Direxit

AB (*fig.* 102.), ſur la circonférence duquel on a creuſé une gorge en ſpirale CFG. On peut repréſenter ſa génération par le mouvement uniforme d'une ligne droite FG (*fig.* 103.), qui trace la ſurface d'un cylindre KH, dans le même temps qu'un point F deſcend avec une vîteſſe uniforme de F en I & de I en G. Il eſt clair qu'à la fin de trois révolutions & un quart, ce point auroit parcouru la ligne ſpirale FLMHKNOP. La cloiſon CF (*fig.* 102.) qui demeure entre les tours de la gorge de la vis, s'appelle le *filet de la vis*; & la diſtance CG qu'il y a d'un filet à l'autre, s'appelle le *pas de la vis.* Fig. 102. Fig. 103. Fig. 102.

554. On pratique de même le filet & la gorge dans une cavité cylindrique, pratiquée dans un morceau de métal ou de bois CD (*fig.* 104.), pour en faire une vis intérieure, qui prend ordinairement le nom d'*écrou*. On l'appelle auſſi quelquefois *vis femelle*, tandis qu'on nomme la vis AB, *vis mâle.* Fig. 104.

555. Il eſt aiſé de voir que le filet d'une vis eſt un plan incliné à la baſe du cylindre AB (*fig.* 102.); & que ce plan y eſt d'autant plus incliné, que les pas CG ſont moins grands. La hauteur de ce plan eſt le pas de la vis, ou, ce qui eſt la même choſe, la diſtance d'un filet à l'autre: ſa baſe eſt la circonférence de la vis: & ſa longueur eſt donnée par cette circonférence & la hauteur du pas; car Fig. 102.

si l'on développe un de ces filets *a b*, il formera, avec son pas *b c*, & sa base ou la circonférence *a c* de la vis, un triangle *a b c*, rectangle en *c*, dont il est aisé de connoître le côté *ab*, puisqu'on connoît les deux autres, ainsi que l'angle en *c*. Lors donc qu'une vis tourne dans son écrou, ce sont deux plans inclinés, dont l'un glisse sur l'autre.

556. Selon la matiere dont on fait les vis, ou celle dans laquelle elles doivent entrer, & suivant les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes à leurs filets. Aux vis de bois, on fait des filets C, G, F, angulaires, pour leur conserver de la force; car, par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte. On donne aussi la même forme aux filets des vis en bois, c'est-à-dire, de ces petites vis de fer, qui sont des cônes fort alongés, qui finissent presque en pointe, & qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois. On doit les considérer, de même que les meches des vrilles & des tarieres, comme des coins tournans, dont l'angle ouvre le bois d'autant plus aisément, qu'il est plus aigu. Mais aux grosses vis de métal

Fig. 105. (*fig.* 105.), qui servent aux presses & aux étaux, on fait des filets quarrés *f*, *f*, afin qu'elles éprouvent plus de frottemens par l'augmentation de la surface de chaque filet; car c'est souvent des

frottemens que vient le principal effet des vis : ils empêchent les mâchoires d'un étau de s'écarter, quoiqu'elles y tendent par la réaction de la piece qu'elles serrent entre elles.

557. On se sert principalement des vis pour serrer fortement des corps les uns contre les autres, & quelquefois aussi pour élever des poids ou des fardeaux, où pour faire avancer ou reculer certaines pieces d'une quantité déterminée. Pour cela on fait usage de la vis & de l'écrou, dont l'un ou l'autre sert de point d'appui. Quelquefois la vis est mobile & l'écrou est fixe ; d'autres fois c'est la vis qui est fixe, tandis que l'écrou est mobile ; mais, dans l'un & l'autre cas, l'effet de la vis est le même.

558. Quand on veut faire usage de cette machine, on attache donc ou l'on applique l'une des deux pieces (la vis ou l'écrou) à la résistance à vaincre, & l'autre lui sert comme de point d'appui. Alors, en tournant, on fait mouvoir l'écrou sur la vis, ou la vis dans l'écrou, selon sa longueur ; & ce qui résiste à ce mouvement avance ou recule d'autant. Aux étaux des Serruriers, par exemple, une des deux mâchoires est poussée, par l'action d'une vis, contre l'autre, à laquelle est fixé un écrou. Il faut, comme l'on voit, que la puissance fasse un tour entier, pour faire avancer la résistance d'un pas de vis, c'est-à-dire, d'une

quantité égale à la distance d'un filet à l'autre. Si la puissance est appliquée immédiatement à la vis, l'espace qu'elle parcourt, ou son degré de vîtesse est *a c* (*fig*. 102.), qui est la mesure de la circonférence de la vis (555); & le degré de vîtesse de la résistance est *c b*, mesure du pas de la vis. Mais, comme on fait ordinairement tourner les vis, & sur-tout celles qui sont grosses, avec des leviers ou quelque chose d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que si elle étoit immédiatement appliquée à la vis : ce n'est plus *a c* qui exprime sa vîtesse; c'est la circonférence du cercle, dont le levier DE est le rayon. Et, comme, pour qu'il y ait équilibre, il faut que les puissances soient entre elles en raison inverse de leurs vîtesses, on peut établir, en général, que dans l'usage des vis, si l'on fait abstraction des frottemens, *la puissance est à la résistance, en cas d'équilibre, comme la hauteur du pas est à la circonférence que décrit la puissance.* D'où il suit que la même résistance sera vaincue par une puissance d'autant plus petite, que le pas de la vis sera lui-même plus petit, ou que cette puissance agira par un levier plus long. Mais, dans ce dernier cas, elle fera plus de chemin : elle perdra donc en temps ce qu'elle gagnera en force, comme cela ne manque jamais d'arriver.

Fig. 102.

De

De la Vis sans fin.

559. La vis sans fin differe beaucoup des vis dont nous venons de parler (553 *& suivans*). Ces dernieres se meuvent dans un écrou, & cessent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur. Au lieu que la vis sans fin est un cylindre qui tourne toujours du même sens, ses deux extrémités A & B (*fig.* 106.) étant portées sur des pivots solides; de sorte que son action est continue : c'est ce qui lui a fait donner son nom. Les filets *z*, *h* de cette vis, qui sont le plus souvent quarrés, engrenent avec les dents d'une roue verticale C*h*, qui porte, sur son axe, un rouleau T, avec une corde à laquelle on attache le fardeau P qu'on veut élever. Une très-petite force, appliquée à la manivelle ME, peut enlever un fardeau P très-considérable; mais il faut beaucoup de temps, comme on va le voir. *Fig.* 106.

560. Cherchons donc le rapport du poids P, à la puissance Q. Il est évident que le poids P est contre-balancé immédiatement par la résistance que le filet *h* de la vis oppose à la dent de la roue, suivant la direction *hg*, perpendiculaire au rayon C*h*. Ce filet *h* agit donc par le rayon C*h* de la roue, tandis que le poids P agit par le rayon C*d* du rouleau. Ainsi, pour avoir équilibre, il faut

que la force en *h* soit au poids P, comme C*d*, rayon du rouleau, est à C*h*, rayon de la roue (478 *& suiv.*).

561. Mais de même que le filet de la vis pousse la dent de la roue suivant la direction *hg*, de même aussi ce filet est repoussé à son tour suivant la direction contraire *hi*, & avec la même force, par la réaction de la dent de la roue, que le poids P tend à faire tourner dans ce sens-là. Si cette derniere force l'emportoit, elle feroit faire un tour au rayon ME de la manivelle, pendant que la roue reculeroit d'une dent. Il faut donc, pour avoir équilibre, que la puissance Q soit à la réaction de la dent de la roue, comme le pas *zh* de la vis est à la circonférence que décrit le rayon ME, par lequel agit la puissance Q.

562. On peut donc exprimer ainsi le rapport que le poids P doit avoir en cas d'équilibre, avec la puissance Q. *Le poids est à la puissance, comme le produit du rayon de la roue, multiplié par la circonférence que décrit le rayon de la manivelle, est au produit du rayon du rouleau multiplié par la hauteur du pas de la vis.*

563. On pourroit encore exprimer autrement ce rapport. Nous venons de dire (561) que la puissance Q fait faire un tour à la manivelle ME, pour faire avancer une dent de la roue. Pour

faire faire un tour entier à cette roue, & par conséquent pour élever le poids P d'une quantité égale à la circonférence du rouleau, il faudroit donc faire faire à la manivelle autant de tours que la roue a de dents. Et comme les puissances doivent être en raison réciproque des vîtesses ou des espaces parcourus, on peut dire : *Le poids est à la puissance, comme la somme des circonférences décrites par l'extrémité du rayon de la manivelle, est à la circonférence du rouleau.*

564. Il suit de là que le mouvement de la roue étant excessivement lent, en comparaison de celui de la manivelle, il n'est besoin que d'une très-petite puissance pour soulever un poids considérable, par le moyen de la vis sans fin. Par exemple, supposons, comme dans la *fig.* 106, une roue C*h* qui ait 19 dents; & une vis qui n'ait qu'un filet, & qui, à chaque tour, ne fasse passer qu'une dent de la roue; que la circonférence du rouleau T soit d'un pied; & que celle que décrit le rayon E M de la manivelle, soit de 5 pieds. Quand la roue C*h* aura fait un tour entier, le poids P sera monté de 1 pied; & l'espace parcouru par la puissance Q, sera de 19 fois 5 pieds, ou de 95 pieds. La vîtesse de la puissance Q sera donc à la vîtesse du poids P, comme 95 est à 1. Par conséquent cette puis- *Fig.* 106.

ſance, avec un effort d'une livre, en ſoutiendroit 95; & ſi ſon effort égaloit 30 livres, elle en ſoutiendroit 2850.

565. Si la roue C*k* avoit une fois plus de dents qu'elle n'en a, ou que le rayon EM de la manivelle fût une fois plus long, la même puiſſance Q produiroit un effet double; c'eſt-à-dire qu'elle ſoutiendroit 5700 livres.

566. Mais ſi, ſans changer le nombre des dents de la roue C*h*, ou la longueur du rayon EM de la manivelle, on plaçoit ſur l'axe de la roue, au lieu du rouleau T, une autre vis ſans fin, dont le filet engrenât avec les dents d'une ſeconde roue de même nombre que la premiere, & garnie du rouleau T, qui ſoutînt le poids P, la même puiſſance Q ſeroit capable de ſoutenir un poids 19 fois auſſi grand; c'eſt-à-dire que cette puiſſance, ne valant intrinſéquement que 30 livres, en pourroit ſoutenir 54150.

De la Vis d'Archimede.

567. Cette machine, inventée par ***Archimede***, eſt très-propre à l'élévation des eaux. C'eſt un cylindre CD (*fig.* 107.) qui tourne ſur deux pivots, & autour duquel on a roulé en ſpirale un canal creux C*adegfi*. On incline ce cylindre à l'horizon ſous un angle d'environ 45 degrés,

& l'on fait plonger dans l'eau l'orifice C du canal. Ce canal, qui dans la figure est ouvert dans toute sa longueur, doit être fermé de toutes parts, excepté à ses deux extrémités. Si, par le moyen d'une manivelle M, ou autrement, on fait tourner la vis, l'eau glisse dans le canal spiral, se porte de spire en spire, & va se décharger par l'autre extrémité *i* du canal creux.

568. Cette machine est très-simple, & son invention est très-heureuse; l'eau y monte, non pas en descendant, comme quelques-uns l'ont dit, mais par la même force qui tend à la faire descendre, en un mot par sa pesanteur. En effet, la particule d'eau qui est dans la partie inférieure de la vis, en *d*, par exemple, ne peut pas demeurer au point *d*, lorsqu'en tournant la vis, ce point *d* passe en *a*, lieu plus élevé que n'étoit le point *d* avant qu'on tournât la vis; parce que la pesanteur de cette particule l'oblige de se porter au point qui a succédé au point *d* à la partie inférieure de la vis; lequel point est plus bas que n'est actuellement le point *a*, mais en même temps plus élevé que n'étoit le premier point *d* avant qu'il passât en *a* : de sorte que cette particule d'eau, tendant toujours à se tenir au lieu le plus bas, se trouve, à chaque instant, dans des points de plus en plus élevés; & elle y est réellement portée par

ſa peſanteur. Ce que nous diſons de cette particule d'eau, on peut le dire de toutes les autres. Il faut donc que, pour qu'une ſubſtance puiſſe monter dans la vis d'*Archimede*, elle ſoit fluide & peſante.

569. Cette vis eſt fort propre à élever une grande quantité d'eau avec une très-petite force : c'eſt pourquoi elle peut être très-utile pour vider des lacs & des étangs. Mais elle ne peut pas porter l'eau à une grande hauteur, parce que cette vis étant néceſſairement inclinée, ne peut élever l'eau fort haut, ſans devenir elle-même fort longue, & par-là très-peſante, & ſans courir les riſques de ſe courber & de perdre ſon équilibre : ce qui exigeroit alors une très-grande force pour la mettre en jeu.

Des réſiſtances qu'éprouvent les Machines lorſqu'elles ſont prêtes à ſe mouvoir.

570. Si les matieres dont les machines ſont compoſées, étoient parfaitement dures & parfaitement polies, & ſi les cordes qu'on eſt ſouvent obligé d'employer, pour tranſmettre l'action de la force motrice d'une partie de la machine à l'autre, avoient une parfaite flexibilité ; la théorie de l'équilibre que nous venons d'établir, ſuffiroit pour déterminer, dans chaque cas, la force requiſe pour contre-balancer

une résistance donnée : & cette force une fois trouvée, on seroit assuré qu'en l'augmentant de la plus petite quantité, l'équilibre se romproit, & la résistance seroit vaincue. Mais dans l'état physique & naturel des machines, il s'en faut de beaucoup que les choses ne soient ainsi. Il peut se faire qu'on augmente, même d'une quantité assez grande, cette puissance déterminée par la théorie, sans que pour cela il résulte aucun mouvement dans la machine. Le frottement des surfaces les unes contre les autres, & la résistance que font les cordes, lorsqu'il s'agit de les faire plier autour des poulies ou cylindres qu'elles embrassent, s'opposent au mouvement de la machine. La valeur de ces résistances est très-difficile à estimer : on ne doit donc pas se promettre une théorie rigoureuse sur cette matiere, qui est mêlée d'un si grand nombre d'accidens & de difficultés physiques, qu'on ne parviendra peut-être jamais à l'éclaircir complétement.

571. Nous avons déjà parlé assez au long (*96 & suiv.*) de la résistance qui résulte des frottemens : nous croyons devoir y renvoyer le Lecteur. Nous allons nous occuper maintenant de la résistance qui vient de la roideur des cordes.

De la Roideur des cordes.

572. Les cordes sont des corps longs & plus ou moins flexibles, composés de plusieurs fils, de matiere, soit végétale, soit animale, soit minérale, appliqués les uns contre les autres, & réunis par le tortillement. On fait donc des cordes de matieres végétales, telles que le chanvre & l'écorce d'arbre : celles de chanvre sont les plus communes, les plus en usage, & préférables à celles d'écorce d'arbre ; car elles ont plus de force. On en fait de matieres animales, telles que la soie, les boyaux, & les nerfs. On en fait aussi quelquefois de matieres minérales, telles que le fil de fer & le fil de laiton.

573. La difficulté que fait éprouver la roideur des cordes, lorsqu'il s'agit de les faire plier sur les poulies ou les cylindres, est très-considérable & très-difficile à évaluer, comme nous l'avons dit ci-dessus (570). Les principes que nous allons établir ne sont donc pas rigoureusement vrais ; mais du moins ils sont assez conformes à ce que l'expérience nous a appris là-dessus. C'est M. *Amontons* qui a le premier traité méthodiquement cette matiere. (Voyez les *Mém. de l'Acad. Royale des Sc. année 1699, page 217.*) Il rapporte les expériences qu'il a faites pour s'assurer

des proportions dans lesquelles ces résistances augmentent. De ces expériences il suit que la roideur des cordes dépend principalement de trois choses : 1°. de la force qui tient les cordes tendues; 2°. de la grosseur des cordes; 3°. de la quantité dont on les fait plier, ou, ce qui est la même chose, du diametre des poulies ou cylindres sur lesquels on les fait plier.

574. Supposons deux cordes A C, B D, (*fig.* 108.) attachées chacune à un point fixe A & B; qu'on leur fasse faire à chacune un tour sur le cylindre EE. Si elles n'avoient point de roideur, & qu'elles fussent parfaitement flexibles, le poids seul du cylindre suffiroit pour le faire tomber : au lieu de cela, il faut, pour qu'il descende, y ajouter un poids d'autant plus considérable, que les cordes sont tendues par une plus grande force. Pour s'en assurer, que l'on attache au cylindre EE un bassin de balance G, avec un cordon roulé dans le sens contraire à celui dans lequel sont roulées les cordes A C, B D, & que l'on tende ces cordes avec des poids placés sur le plateau CD. On verra, 1°. que, pour faire descendre le cylindre, & par conséquent pour vaincre la roideur des cordes, il faudra ajouter, dans le bassin G, un poids d'autant plus considérable, que le poids placé sur le plateau CD, & qui tend les *Fig.* 108.

cordes, sera plus grand. Si le poids qui tend les cordes est, 1°. de 100 livres; 2°. de 200 livres, il faudra, dans le bassin G, dans le second cas, un poids double de celui qu'il aura fallu dans le premier. D'où il suit que la *résistance de la roideur des cordes, qui résulte des forces qui tendent ces cordes, croît en raison directe de ces forces.*

575. On verra, 2°. qu'avec le même cylindre & le même degré de tension des cordes, il faudra ajouter, dans le bassin G, un poids d'autant plus considérable, que le diametre des cordes sera plus grand. Si ce diametre est, 1°. de 10 lignes, 2°. de 20 lignes; il faudra, dans le bassin G, dans le second cas, un poids double de celui qu'il aura fallu dans le premier. D'où il suit que *la résistance de la roideur des cordes, qui résulte de leur grosseur, croît seulement comme le diametre des cordes, & non pas comme leur solidité.*

576. On verra, 3°. qu'en éprouvant toujours les mêmes cordes, tendues par les mêmes forces, & conservant toujours le même diametre au cylindre sur lequel s'enveloppe le cordon qui porte le bassin G, il faudra ajouter, dans ce bassin, un poids d'autant plus considérable, que le diametre du cylindre, sur lequel s'enveloppent les cordes, sera plus petit; mais non pas toujours suivant la proportion de la diminution de ce diametre. Car

la *résistance de la roideur des cordes* (qui augmente certainement à mesure que les cylindres deviennent plus petits) *n'augmente pourtant pas toujours autant que décroissent les diametres des cylindres sur lesquels elles s'enveloppent.*

577. Pour rendre raison de ces faits, supposons la corde *ihfe*L (*fig.* 109.), attachée au point fixe *i*, & roulée sur le cylindre *e*. On peut considérer le diametre *fe* du cylindre & le diametre *eh* de la corde, comme formant ensemble un levier à bras inégaux, dont le point d'appui est en *e*, point où la corde touche le cylindre. Le poids du bassin G agit donc par le bras de levier *fe*, tandis que le poids attaché à l'extrémité L de la corde, & qui la tend, agit par le bras de levier *eh*, ou par le diametre de la corde. Il est aisé de voir maintenant qu'un poids double, agissant par ce bras de levier, doit y produire un effet double. C'est de là que résulte le premier principe (574). *Fig.* 109.

578. En supposant toujours la même figure, on voit pourquoi, à mesure que *eh*, ou, ce qui est la même chose, le diametre de la corde augmente, la force du poids L augmente en même proportion : car ce poids agit alors par un bras de levier plus long ; ce qui lui donne plus de force pour augmenter la roideur de la corde. C'est de là que résulte le second principe (575). On voit que ce n'est que le diametre de la corde, & non pas

sa solidité, qui influe sur cet effet; cela vient de ce que cette résistance, causée par le diametre de la corde, ne provient que de ce que ce diametre éloigne ou approche l'action du poids L du point d'appui *e*; & non pas de ce que la corde contient plus ou moins de matiere: car, si cela étoit, cette résistance augmenteroit ou diminueroit suivant les quarrés des diametres des cordes.

579. Pour rendre raison du troisieme principe (576), savoir pourquoi la résistance de la roideur des cordes augmente à mesure que les cylindres, sur lesquels elles s'enveloppent, deviennent plus petits; supposons une corde tendue ABDC (*fig.* 110.): si l'on veut la faire plier sur le cylindre K, on est obligé de faire écarter ses parties dans la moitié de son épaisseur ABEF, pour lui faire prendre la situation *agdehf*; & de resserrer au contraire ses parties dans l'autre moitié de son épaisseur *ehfcib*: or cet écartement d'une part, & ce resserrement de l'autre, font une résistance réelle à la puissance qui tend à plier la corde; & cette résistance est d'autant plus grande, 1°. que la force qui tend la corde est plus considérable; car alors elle est plus roide; 2°. que la corde est plus grosse; puisqu'il y a plus de parties à écarter d'une part, & à resserrer de l'autre; 3°. que le diametre du cylindre sur lequel on fait plier la corde, est plus petit, la corde demeurant la même; puisqu'il

faut écarter davantage d'une part, & resserrer de l'autre, la même quantité de parties. Il faut donc moins de force pour faire plier la même corde sur le cylindre K, que sur le cylindre *k*. Mais l'expérience prouve que cette résistance n'augmente pas toujours autant que les diametres des cylindres décroissent.

580. De tout ceci il suit qu'en général *la résistance qui vient de la roideur des cordes est en raison composée de la raison directe des forces qui tendent les cordes, de la raison directe des diametres des cordes, &, à peu près, de la raison inverse des diametres des cylindres.*

581. Il suit de là que la résistance qui vient de la roideur des cordes dans une machine, étant estimée en poids, tel que celui qui est nécessaire pour contre-balancer cette résistance, devient comme un nouveau fardeau qu'il faut ajouter à celui que la machine doit élever; & comme cette augmentation de poids augmentera encore la roideur des cordes, il faudra de nouveau calculer cette augmentation de résistance, & ajouter le poids nécessaire pour la contre-balancer; & ainsi de suite, jusqu'à ce que cette résistance, provenant de l'augmentation qu'on fait à chaque fois à la puissance, soit si petite, qu'on ne doive plus y avoir égard. Ainsi on aura plusieurs sommes décroissantes, qu'il faudra ajouter ensemble, & qui peuvent se monter très-haut.

582. Il suit de tout ce que nous venons de dire sur la résistance qui provient de la roideur des cordes, qu'on doit préférer, autant que faire se peut, les grandes poulies aux petites; non seulement parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe éprouve moins de frottement, mais encore parce que les cordes qui les entourent y souffrent une moindre courbure (579), & sont par conséquent une moindre résistance. Cette considération est d'une si grande conséquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, selon la regle de M. *Amontons* (*Mém. de l'Acad. des Sc. année* 1699, *page* 225), on voit clairement que si l'on vouloit enlever un fardeau de 800 livres avec une corde de 20 lignes de diametre, & une poulie qui n'eût que 3 pouces, il faudroit augmenter la puissance de 212 livres, seulement pour vaincre la roideur de la corde, sans compter plus de 224 livres pour vaincre le frottement de l'axe de la poulie; au lieu qu'avec une poulie de deux pieds de diametre, 22 livres suffiroient pour vaincre la roideur de la corde, & 23 livres pour vaincre le frottement.

583. Comme les cordes qu'on emploie dans les grandes machines & sur les vaisseaux, sont d'un prix considérable, & qu'elles doivent soutenir de très-grands efforts, on doit chercher à les rendre durables, & à leur donner le plus de force qu'il

est possible. Si les fibres qui composent les cordes étoient assez longues par elles-mêmes, on se feroit sans doute contenté de les mettre ensemble, & de les lier en forme de faisceaux sous une enveloppe commune. Cette maniere de composer les cordes eût peut-être paru la plus simple & la plus propre à leur conserver la flexibilité qui leur seroit si nécessaire : mais comme ces fibres n'ont qu'une longueur fort limitée, on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant, c'est-à-dire, en les tortillant ensemble. Le frottement qui naît de cette sorte d'union, est si considérable, qu'elles se cassent plutôt que de glisser l'une sur l'autre. C'est ainsi que se forment les premiers fils dont l'assemblage fait un cordon; & de plusieurs de ces cordons réunis & tortillés ensemble, on compose les plus grosses cordes. On juge aisément que la quantité de matiere contribue beaucoup à la force des cordes : on conçoit bien aussi qu'un plus grand nombre de cordons également gros, doit faire une corde plus difficile à rompre : mais quelle est la maniere la plus avantageuse d'unir les fils ou les cordons? Est-il plus avantageux de tordre beaucoup les cordes, ou de les tordre peu? Le tortillement augmente-t-il leur force ou la diminue-t-il? M. *de Réaumur* (*Mém. de l'Acad. des Sc. année* 1711, *page* 6) a fait une longue suite d'expériences pour chercher à résoudre cette quef-

tion. Après avoir éprouvé la force de plusieurs brins de fil, il a fait plusieurs petites cordes, composées de différens nombres de ces brins, tortillés ensemble. Jamais ces cordes n'ont porté la somme des poids que les brins, dont elles étoient composées, portoient séparément. D'où l'on a conclu, avec raison, que le tortillement diminue la force des cordes.

584. Il est aisé d'en sentir la raison. En tortillant ensemble plusieurs cordons pour former une corde, les uns sont inévitablement plus fortement tendus que les autres: lorsque la corde est appliquée à quelque effort, cet effort est inégalement partagé entre eux: celui de tous qui est le plus tiré, casse le premier; & si tous sont nécessaires pour l'effort à vaincre, la corde devient par-là trop foible. Ce raisonnement est conforme à ce qui arrive journellement: jamais une grosse corde ne casse toute entiere d'un seul coup; on entend casser ses cordons les uns après les autres.

Fig. 111. En effet, supposons que le cordon A B (*fig.* 111.) puisse porter 10 livres, & rien au delà: si, avec deux cordons parfaitement semblables, on forme, en les tortillant, une corde G, elle ne soutiendra pas, sans se casser, les deux poids E, F, de chacun 10 livres. La même chose arriveroit, si, au lieu de réunir les deux cordons, on les attachoit séparément à deux points fixes C, D, & qu'on leur suspendît

ſuſpendît enſuite un poids de 20 livres H, mais de façon que l'un C fût attaché vers un des bouts du poids, & l'autre D vers la moitié ou le tiers de ſa longueur. Ce dernier, étant par cette diſpoſition chargé de plus de 10 livres, caſſeroit infailliblement; après quoi l'autre, ſe trouvant ſeul chargé des 20 livres, ſe romproit de même. On peut ajouter qu'en tortillant les cordons, pour en former une corde, on les tend néceſſairement un peu; & cette tenſion tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent ſoutenir. On voit donc bien maintenant pourquoi le tortillement affoiblit les cordes: d'où il ſuit qu'on les affoiblit d'autant plus qu'on les tord davantage. En effet, je penſe qu'on devroit tordre les cordes moins qu'on ne le fait; elles en ſeroient moins roides, & elles ne ſe caſſeroient pas ſi aiſément. Elles acquerroient par-là deux qualités bien précieuſes: elles ſeroient plus durables, & plus faciles à faire plier ſur les poulies & les cylindres.

585. Comme les cordes, que l'humidité pénetre, ſe renflent & ſe raccourciſſent néceſſairement, peu ou beaucoup, quelles que ſoient les forces qui s'y oppoſent; on pourroit les employer utilement pour ſoulever, d'une petite quantité, un corps très-lourd, ſous lequel on voudroit introduire quelque autre corps. Pour cela, il faut attacher ce corps lourd, par le moyen d'une corde aſſez forte &

d'une certaine longueur, à un point bien fixe & capable de résister au poids de ce corps. On tendra la corde le plus qu'on pourra; ensuite on la mouillera. L'humidité, en la pénétrant, la gonflera & la raccourcira au point de soulever le corps, quel que soit son poids.

586. Les particules humides pénetrent les corps avec une très-grande force, dont on ne connoît pas bien la cause. On conçoit que ces particules, en pénétrant, comme autant de petits coins, entre les fibres de la corde, les écartent & leur font faire ventre; ce qui gonfle & raccourcit nécessairement l'assemblage.

FIN DU TOME PREMIER.

Benard Direxit.



